



Sveučilište u Zagrebu

Sveučilište u Zagrebu
Filozofski fakultet
Odsjek za fonetiku

Ivana Paljug

SPACIOCEPCIJA I VERBOTONALNA TEORIJA

Diplomski rad

Zagreb, srpanj, 2019.

Sveučilište u Zagrebu
Filozofski fakultet
Odsjek za fonetiku

Ivana Paljug

SPACIOCEPCIJA I VERBOTONALNA TEORIJA

Diplomski rad

Mentorica: dr. sc. Vesna Mildner, red. prof.

Zagreb, srpanj, 2019.

PODACI O AUTORU

Ime i prezime: Ivana Paljug

Datum i mjesto rođenja: 17. travnja 1993., Zagreb

Studijske grupe i godina upisa: Diplomski studij fonetike i Diplomski studij kroatistike, 2016/2017.

Lokalni matični broj studenta: 399893-D

PODACI O RADU

Naslov rada na hrvatskome jeziku: Spaciocepcija i verbotonalna teorija

Naslov rada na engleskome jeziku: The spacioception and verbotonal theory

Broj stranica: 74

Broj priloga:

Datum predaje rada: 1. srpnja 2019.

Sastav povjerenstva koje je rad ocijenilo i pred kojim je rad obranjen:

1. dr. sc. Marko Liker, izv. prof.

2. dr. sc. Arnalda Dobrić, docent

3. dr. sc. Vesna Mildner, red. prof.

Datum obrane rada: 11. srpnja 2019.

Broj ECTS bodova:

Ocjena:

Potpis članova povjerenstva:

1. -----

2. -----

3. -----

IZJAVA O AUTORSTVU DIPLOMSKOGA RADA

Ovim potvrđujem da sam osobno napisala diplomski rad pod naslovom

Spaciocepcija i verbotonalna teorija

(naslov rada)

i da sam njegova autorica.

Svi dijelovi rada, podaci ili ideje koje su u radu citirane ili se temelje na drugim izvorima (mrežni izvori, udžbenici, knjige, znanstveni, stručni članci i sl.) u radu su jasno označeni kao takvi te su navedeni u popisu literature.

Ivana Paljug

(ime i prezime studenta)

(potpis)

Zagreb, _____

Zahvala

Zahvaljujem mentorici, profesorici dr. sc. Vesni Mildner na savjetima, pomoći, uloženom trudu i prenesenom znanju, a najviše na tome što je tijekom studija svojim stručnim radom i uvijek srdačnim pristupom pokazala što znači biti čovjek. Hvala od srca na toj neprocjenjivoj baštini koju ću ponijeti za život.

Najviše zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima na stalnoj potpori, strpljenju, razumijevanju i ljubavi. Posebice hvala mojim roditeljima koji su mi omogućili da studiram ono što volim.

Sadržaj

| | |
|---|-----------|
| 1. Uvod..... | 1 |
| 2. Što je spaciocepcija?..... | 2 |
| 3. Organizacija živčanog sustava i osnove funkcioniranja neurona..... | 3 |
| 3.1. Aktivnost motoričkih neurona | 4 |
| 3.2. Aktivnost osjetnih neurona | 4 |
| 3.3. Osjetni receptori | 5 |
| 3.3.1. Osjetilni put..... | 6 |
| 3.3.2. Osjet i percepcija | 7 |
| 3.3.3. Osjet i osjetilo | 8 |
| 4. Pet osjetila spaciocepcije..... | 9 |
| 4.1. Osjet sluha i slušno osjetilo | 9 |
| 4.1.1. Prijenos zvuka – putujući val i tonotopija | 14 |
| 4.1.2. Središnji slušni mehanizmi..... | 15 |
| 4.1.3. Aferentni slušni put | 16 |
| 4.1.4. Slušna kora..... | 18 |
| 4.1.5. Eferentni slušni put | 19 |
| 4.2. Osjet ravnoteže i vestibularno osjetilo..... | 20 |
| 4.2.1. Vestibularni put – od vestibularnog aparata do središnjeg živčanog sustava | 24 |
| 4.2.2. Vestibulokohlearno slušanje | 26 |
| 4.2.3. Vestibulookularni refleksni luk | 27 |
| 4.3. Opip i propiocepcija | 28 |
| 4.3.1. Osjet dodira | 29 |
| 4.3.2. Osjeti položaja | 30 |
| 4.3.3. Somatosenzorički put | 31 |
| 4.3.4. Mali mozak i retikularna formacija | 33 |
| 4.4. Osjet vida i vidno osjetilo | 36 |
| 4.4.1. Živčano ustrojstvo mrežnice | 38 |
| 4.4.2. Vidni put..... | 38 |
| 5. Harmonija spaciocepcijskih osjetila | 41 |
| 5.1. Bilateralnost i hiralnost osjeta | 43 |
| 5.2. Multisenzoričnost | 44 |
| 5.2.1. Parijetalna hipoteza..... | 45 |
| 5.3. Korespodencija unutar spaciocepcije..... | 46 |
| 6. Spaciocepcijske razine strukturiranja | 48 |

| | |
|--|-----------|
| 7. Prostor i govor | 49 |
| 7.1. Gramatika prostora | 51 |
| 8. Razvoj govora u svjetlu spaciocepcije | 54 |
| 9. Verbotonalna teorija | 57 |
| 9.1. Osnovne postavke verbotonalne teorije..... | 58 |
| 9.2. Keidelov spaciocepcijski prikaz slušnog puta | 59 |
| 10. Verbotonalna rehabilitacija | 60 |
| 10.1. Važnost niskih frekvencija u rehabilitaciji po verbotonalnoj metodi..... | 63 |
| 11. Zaključak | 66 |
| Literatura | 68 |
| Sažetak..... | 72 |
| Summary | 73 |

1. Uvod

Čovjek je holističko biće koje živi i djeluje u prostoru. Da bi se mogao funkcionalno kretati prostorom potrebno je zadovoljiti određene uvjete: percipirati što čini taj prostor (od čega je sastavljen), gdje se pojedinac nalazi u odnosu na druga bića ili stvari, što stoji, što se kreće, gdje je sigurno, a gdje prijeti opasnost, kako biti u skladu s vremenskim faktorima. Ukratko, potrebno je *ovladati prostorom* pomoću osjetila.

Živa bića svojim osjetilima – senzornošću – zamjećuju i primaju različite informacije iz svoje okoline na temelju kojih se odvija sva komunikacija: od okretanja cvijeta prema Suncu do filozofskih rasprava (Bumber i sur., 2004: 65). Sposobnost opažanja i tumačenja prostornih odnosa, čemu služi vid i ostale biološke funkcije, temeljna je za svaku ljudsku aktivnost (Bowerman, 1996: 386).

Kako bismo dobili jasniji uvid u to što je zapravo spaciocepcija ili se približili „spaciocepcijskom“ razmišljanju, od velike je važnosti najprije dati pregled anatomske građe i funkcije pojedinih organa, od osjetila do složenih kortikalnih mreža. Ljudsko je tijelo fizički, fiziološki i organizacijski-funkcionalno savršeno zamišljen mehanizam. Mozak, kao njegova središnja struktura, u neprekidnoj je vezi s perifernim sustavom. Kompleksni ustroj živčanih stanica tvori živčani sustav koji prima i prenosi obavijesti iz okoline i iz unutrašnjosti tijela, obrađuje ih i priprema prikladne odgovore. U poglavljima koja slijede bit će govora o svakom osjetilu spaciocepcije zasebno, a zatim će u drugom dijelu rada biti opisano njihovo harmonijsko i integrirano djelovanje unutar sustava za percepciju prostora.

Multisenzoričnost pridonosi ne samo fizičkom razvitku čovjeka i njegovom funkcionalnom snalaženju u prostoru nego i kognitivnom i afektivnom razvoju. Tako je i govorno-jezični razvoj uvjetovan percepcijom i organizacijom prostora – stvarnim realitetom tijela i njegove okoline i okoliša, ali i onim apstraktnim koji je preuzet iz konkretnog prostora i prenesen u prostor govora i gramatike. Stoga će u poglavlju o prostoru i govoru biti najviše riječi o njihovoj povezanosti i nužnoj korespondenciji između događaja i govora koja tvori gramatiku prostora. Sve što se događa u prostoru ima vezu s našom sensorikom, mišljenjem i govorom (Pansini, 1995: 126).

Tijelo se od rođenja smatra temeljnim čovjekovim „alatom“, dakle u središtu je čovjek, sa svim svojim mogućnostima. Na tim istim temeljima razvila se verbotonalna teorija i metoda

rehabilitacije slušanja i govora, o čemu će biti govora u posljednjem dijelu rada, s posebnim osvrtom na spaciocepcijske mogućnosti čovjeka u procesu rehabilitacije.

2. Što je spaciocepcija?

Sustav za percepciju prostora naziva se *spaciopercepcija* ili *spaciocepcija*, a služi održavanju ravnoteže i nadzoru pokreta tijela u funkciji savladavanja prostora (Padovan i sur., 1990: 59). Ostvaruje se suradnjom većeg broja osjetila (propriocepcija, opip, vestibularno osjetilo, sluh i vid) koja čine u čovjeka funkcionalno povezanu cjelinu (Pansini, 1976: 2). Spaciocepcija predstavlja sveukupnost osjeta kojima se percipira prostor (Aras, 2018: 3), počevši od malog djeteta do odrasle osobe. Čovjek prostor osjeća, odnosno doživljava upravo zato što je prostorno biće.

Najjednostavniji način reagiranja na vanjski podražaj naziva se *taksis* i predstavlja izravnu orijentaciju živog bića u odnosu na neki podražaj (Tadinac i Hromatko, 2012: 57). Doživljavanje i komunikacija prostora ostvaruju se kao *spaciotaksija*, *spaciomorfizam* i *spaciocepcija*. Spaciocepcija biću omogućuje da odredi svoj položaj u prostoru, položaj između progonjenog i progonitelja, općenito položaj korisnih i štetnih predmeta i bića, a poslije u evoluciji pri spolnom razmnožavanju i položaj jedinke prema suprotnome spolu (Padovan i sur., 1990: 59). Taj je osjet jedan od najstarijih i osnovni je osjet za održavanje jedinke i vrste (Pansini, 1976: 7). Već je u jednostaničnih bića prisutna *spaciotaksija* (međusobni dodiri), da bi se u višestaničnih organizama razvio *spaciotropizam*, koji se javlja kod nepokretnih oblika života, kao što su biljke (npr. fototropizam – okretanje kod biljaka). Smatra se da su se osjetne stanice s trepetljikama u vestibularnom osjetilu vjerojatno razvile još u vodenih životinja te stvorile preduvjete za razvoj slušnog osjetila (o čemu će kasnije biti još govora). Daljnjim filogenetskim i ontogenetskim razvojem specijaliziranih osjetilnih organa spaciotropizam se razvija kao *spaciocepcija* i uključuje usklađeno djelovanje osjetila opipa, propriocepcije, vestibularnog, slušnog i vidnog osjetila. Tako spaciocepcija ostaje cjelovit sustav od jednostaničnih bića do čovjeka (Padovan i sur., 1991: 59).

Svaki od navedenih osjetilnih organa prima specifični podražaj, a u središnjem živčanom sustavu dolazi do međudjelovanja i integriranja primljenih informacija, do strukturiranja i oblikovanja slike prostora. Spaciocepcija je, nesumnjivo, složen proces koji rezultira multisenzorički strukturiranom slikom određene prostorno-vremenske cjeline (Bumber i sur., 2004: 89).

3. Organizacija živčanog sustava i osnove funkcioniranja neurona

U najkraćim crtama dat će se temeljni pregled organizacije živčanog sustava, s obzirom na ono što je važno za spaciocepciju i funkcioniranje spaciocepcijskog sustava.

Živčani sustav dijeli se na periferni i središnji. Periferni živčani sustav sastoji se od motoričkih, osjetnih, autonomnih i miješanih živaca. Središnji živčani sustav (veliki i mali mozak, produljena i kralježnička moždina) funkcijski se nalazi između uzlaznih (osjetnih) i silaznih (motoričkih) perifernih živaca. „Mozak se sastoji od niza kortikalnih područja i supkortikalnih jezgara koje se međusobno razlikuju po aferentnim i eferentnim vezama“ (Mildner, 2003: 65). Kralježnička moždina koja prolazi kroz središte kralježnice provodi stalan tok poruka između mozga i tijela, što uključuje podatke o dodirnim i bolnim podražajima koji idu iz kože te motoričke zapovijedi koje idu prema dolje do mišića (Ramachandran, 2013: 36). Svaka moždana hemisfera podijeljena je u četiri režnja (lat. *lobus*): okcipitalni ili zatiljni, temporalni ili sljepoočni, parijetalni ili tjemeni i frontalni ili čeonni.

Središnji živčani sustav (SŽS) sastoji se od više od stotinu milijardi neurona (Guyton i Hall, 2003: 512). *Neuron* je živčana stanica koja predstavlja funkcionalnu i strukturnu jedinicu mozga (Mildner, 2003: 10). Građu svakog (tipičnog) neurona čine tri temeljna dijela: stanično tijelo (soma), akson i dentrit(i). Unutar some nalazi se jezgra sačinjena od DNA, a na tijelo stanice vežu se jedan ili više razgranatih dendrita. Na njima završavaju mnogobrojne sinapse kojima pristižu signali iz prethodnih neurona ili receptora. Akson je sačinjen od mijelinske ovojnice i presinaptičkih aksonskih završetaka (Mildner, 2003: 10–11) koji se protežu u druge dijelove živčanoga sustava ili u periferna područja tijela (Guyton i Hall, 2003: 512). Presinaptički aksonski završeci stupaju u tijesni i izravan dodir sa specijaliziranim djelićem membrane drugih (postsinaptičkih) neurona (ili drugih ciljnih stanica), a specijalizirani su za brzi prijenos poruka (signala, impulsa) na manju ili veću udaljenost (Judaš i Kostović, 1997: 9). Na mjestu sinapsa signali se s pomoću različitih kemijskih prijenosnika (transmitera) prenose na sljedeće neurone u nizu. Svaki neuron ima ili aktivacijsku (facilitacijsku, olakšavajuću), ili inhibirajuću (zaprječavajuću) funkciju, a razlikuju se po osobinama kemijskih prijenosnika.

Mjesto membranskog kontakta dviju živčanih stanica, ili neurona i stanica izvršnih organa (mišićnih, žljezdanih, krvožilnih), ili neurona i osjetnih stanica (receptora) – nazivamo *sinapsa*. Sinapsa je, dakle, funkcionalna veza između jedne živčane stanice i druge te je karakteristična samo za neuralno tkivo, jer ih stvaraju samo neuroni i njihove ciljne stanice

(Mildner, 2003: 13). Na mjestu te funkcijske veze informacija se prenosi u obliku *živčanog impulsa* (signala), a sinapse određuju smjerove kojima će se ti signali širiti u živčanome sustavu. Uloga neurona je prijenos i primanje informacija. Ulazni signali dopijevaju u neuron uglavnom preko sinapsa na dendritima, ali i preko sinapsa na staničnom tijelu (Guyton i Hall, 2003: 512). Receptivna površina neurona povećana je upravo zahvaljujući dendritima (Mildner, 2003: 11). Izlazne informacije neuron odašilje drugim neuronima i stanicama preko svog jedinog aksona.

Živčani se signali prenose pomoću akcijskih potencijala, a to su brze promjene membranskog potencijala koje se brzo šire uzduž membrane živčanog vlakna (Guyton i Hall, 2003: 55). U tim je promjenama izuzetno važna *natrijsko-kalijska crpka* (Na^+/K^+ -ATP-aza) koja predstavlja važan mehanizam aktivnog prijenosa tvari kroz membrane stanica. Ta crpka svojim radom stvara električni potencijal kroz staničnu membranu, koji je osnovni uvjet za prijenos živčanih i mišićnih signala (Guyton i Hall, 2003: 48).

Ovisno o smjeru kretanja ili prijenosa informacija, tj. radi li se o odašiljanju ili primanju signala, razlikujemo *motoričke* (eferentne) i *osjetne* (aferentne, senzoričke) neurone. Motorički neuroni odašilju vlakna iz živčanog sustava prema tijelu za razliku od osjetnih neurona koji se protežu od tijela prema mozgu.

3.1. Aktivnost motoričkih neurona

Neuroni na kraju svog aksona imaju presinaptičke aksonske završetke kojima čine sinapse s mišićnim vlaknima i žljezdanim stanicama. Motorički neuroni nadziru aktivnost mišića kostura, glatkih mišića i žlijezdi, a sami su pod nadzorom nekoliko sustava u mozgu, koje nazivamo *motoričkim sustavima* (Mildner, 2003: 12). „Najvažnija je konačna uloga živčanoga sustava kontrola različitih tjelesnih aktivnosti. (...) Sve te aktivnosti nazivamo *motoričkim funkcijama* živčanoga sustava. Mišići i žlijezde nazivaju se *efektorima* jer obavljaju funkcije kojima upravljaju živčani signali“ (Guyton i Hall, 2003: 512).

3.2. Aktivnost osjetnih neurona

Većina aktivnosti živčanoga sustava počinje osjetnim doživljajem koji potječe iz nekog osjetnog receptora. To mogu biti vidni receptori u očima, slušni receptori u ušima, taktilni receptori na tjelesnoj površini ili već neka druga vrsta receptora. Tijela osjetnih neurona nalaze se tik uz kralježničku moždinu u skupinama koje se nazivaju gangliji (Mildner, 2003: 12). Informacije pristigle iz receptora s cijele površine tijela ulaze u središnji živčani sustav putem perifernih živaca, te se odmah prevode u mnoga osjetna područja: 1) u sve razine kralježničke

moždine, 2) u retikularnu tvar produljene moždine, ponsa i mezencefalona, 3) u mali mozak, 4) u talamus i 5) u područja kore velikoga mozga (Guyton i Hall, 2003: 512). Iz osjetnih područja sekundarni se signali zatim prenose gotovo u sve ostale dijelove živčanoga sustava. Osjetilni sustavi primaju specifične podražaje, a zatim se u SŽS integriraju prikupljene informacije te se strukturira i oblikuje slika prostora koja oblikuje motorički odgovor.

Na kraju osjetnih živaca nalaze se osjetna tjelešca koja prepoznaju promjene u okolini organizma ili u njemu samom; primaju podražaje te pretvaraju određeni oblik energije (mehaničke, kemijske ili elektromagnetske valove) u oblik prilagođen komunikacijama unutar živčanoga sustava, a to su živčani impulsi.

„Pošto važna osjetna informacija potakne um, ona se odmah usmjerava u prikladna integracijska i motorička područja mozga kako bi se potaknula željena informacija. To usmjeravanje i obrađivanje informacija naziva se *integracijskom funkcijom živčanoga sustava*“ (Guyton i Hall, 2003: 513). U integracijskim procesima na različitim razinama središnjeg živčanog sustava nastaju nalozi koji se iz središnjih koordinacijskih centara mozga i kralježničke moždine prenose putem motoričkih živaca na postsinaptičke membrane sljedećih neuronskih sklopova u nizu, te u konačnici na efektorne organe. Sve je to moguće zbog jednog od najvažnijih načela živčanog sustava – *hijerarhijske organizacije* (Fischbach, 1992; Kalat, 1995; Webster, 1995; Kolb i Whishaw, 1996, prema Mildner, 2003: 63). To znači da će više razine biti zadužene za više funkcije kojima treba veća preciznost, npr. pažnja i mišljenje, te uključuju veća područja korteksa ali i supkortikalne dijelove (Mildner, 2003: 66). Time smo se dotakli problema strukture koja će biti izuzetno važna u razumijevanju verbotonalne teorije. Guberina naglašava kako su problemi strukture kompleksni; „oni se istovremeno odnose na nekoliko osjetnih organa i na mogućnost mozga da funkcionira kao cjelina, na strukturalan način, kada integrira vanjske stimuluse“ (Guberina, 1967a: 7).

3.3. Osjetni receptori

Postoji više vrsta osjetnih (senzornih) sustava, točnije onoliko koliko ima osjetila – vidni, slušni, njušni, okusni i somatosenzorni sustav. Svaki osjetni sustav uključuje tri osnovna elementa: 1) receptore, tj. periferni dio; 2) senzorne (osjetilne) putove; 3) osjetna ili senzorna područja u kori velikog mozga (Tadinac i Hromatko, 2012: 109). Ulaz informacija (ili vanjskih stimulusa, kako ih naziva Guberina) u živčani sustav omogućuju *osjetni receptori* – prva poveznica između vanjskog svijeta i tijela – koji zamjećuju osjetne podražaje (Guyton i Hall, 2003: 528). Dakle da bi uopće došlo do osjeta, potreban je neki vanjski podražaj i, zatim, procesi koji taj podražaj

pretvaraju u bioelektrične signale pogodne za prijenos živcima te specifičan odgovor organizma na tako kodiranu poruku (Mildner, 2003: 26). Najveći broj osjetnih receptora čine *mehanoreceptori*, u koje ubrajamo: kožne osjete opipa, osjete dubokih tkiva, osjet sluha, osjet ravnoteže i osjet za arterijski tlak. Mehanoreceptori zamjećuju mehaničko pritiskanje ili istežanje receptora, odnosno mehaničku deformaciju njih samih ili struktura koje se nalaze pored.¹

Svaka vrsta receptora izrazito je osjetljiva na onaj oblik podražaja za koji je predodređena. To se obilježje naziva *razlikovna osjetljivost* (Guyton i Hall, 2003: 528). Osjetni receptori prevode primljenu ulaznu energiju (koja može biti mehanička, toplinska, kemijska, elektromagnetska) u elektrokemijsku energiju, čime je ispunjen jedan od najvažnijih preduvjeta za prijenos informacija (u obliku akcijskih potencijala) u središnji živčani sustav (Mildner, 2003: 26).

3.3.1. Osjetilni put

Unutar sustava za percepciju prostora odvijaju se fizičko-kemijski procesi koji djeluju na osjetilne organe. Ti se procesi nazivaju *draži*. Reakcija na draži posredstvom osjetilnog organa čini temelj opažanja. Kada draž djeluje na osjetilni organ, ona u živčanim ćelijama, koje su smještene u osjetilnom organu, izaziva određenu vrstu fiziološkog procesa – *podražaj*. Podražaji su zapravo određena vrsta energije (mehanička, kemijska, elektromagnetski valovi i sl.), koji se preko receptora pretvaraju u oblik energije razumljiv živčanom sustavu, tj. u živčano uzbuđenje (Tadinac i Hromatko, 2012: 109). Podražaj se u obliku impulsa prenosi do viših struktura centralnog živčanog sustava i kada dođe do određenog područja u moždanoj kori, izaziva *doživljaj* – psihičku pojavu koja pomaže u osvještavanju draži koja je djelovala na osjet. Radi se zapravo o svojevrsnom procesu kodiranja informacija, koje se onda u korteksu dekodiraju i interpretiraju. Organi čija je primarna funkcija primanje draži nazivaju se *osjetila*. Od trenutka kada je podražaj svojom energijom uzbudio osjetne stanice, treba proći neko vrijeme da intenzitet osjeta dosegne punu razinu. To se vrijeme zove *latencija osjeta*. Ako podražaj konstantnog intenziteta djeluje na osjetne stanice, intenzitet će osjeta slabiti. Ta pojava naziva se *osjetna adaptacija*. Obrnuti proces osjetnoj adaptaciji jest *rekuperacija*. Bitno je

¹ U ostale fizikalne receptore ubrajaju se: *termoreceptori* (zamjećuju promjene temperature); *nociceptori* (receptori za bol koji zamjećuju oštećenje tkiva); *elektromagnetski receptori* (odnose se na osjet vida); *kemoreceptori* (okus, miris, kisik u arterijskoj krvi, osmolarnost, CO₂ u krvi, glukoza, aminokiseline i masne kiseline u krvi) (Guyton i Hall, 2003: 528). Razlikuju se prema obliku energije koja na njih djeluje. Fiziološki se receptori razlikuju prema mjestu smještaja na tijelu (eksteroreceptori – na površini tijela: dodir, temperatura, vid, sluh; interoceptori – u unutrašnjim organima; proprioceptori – u mišićima, zglobovima i tetivama). O potonjima će biti više govora u poglavlju o proprioceptiji. Za detaljniju klasifikaciju vidjeti u Tadinac i Hromatko, 2012; Goldstein, 2011.

naglasiti da osjet ne prestaje u trenutku u kojem podražaj prestane djelovati, već traje još neko vrijeme i postupno nestaje, što se naziva *perzistencija osjeta*. Informacije primljene različitim osjetima ne doživljavamo zasebno, već se kombiniraju i u području mozga analiziraju i organiziraju. Rezultat tih aktivnosti jest *percepcija*, odnosno opažanje cjeline u prostoru. Taj proces ukazuje na usku povezanost osjeta i percepcije, pri čemu se često ističe da se osjet i percepcija u osnovi ne razlikuju, ali da najprije nastaje osjet pa tek onda percepcija. Svi osjeti zajedno djeluju u stvaranju percepcije prostora. Ako jedno osjetilo prenosi jednu poruku, a drugo osjetilo tu poruku ometa neodgovarajućim informacijama, onda dolazi do *supresije*.

Nakon prevođenja ulaznog podražaja u elektrokemijsku energiju, osjetni signali svih modaliteta osjeta dalje se prenose u moždanu koru, preciznije u somatosenzoričko područje I, smješteno iza središnje brazde, a koje se naziva još i *somatosenzorička kora*. Tako je prednja polovica parijetalnog režnja gotovo posve povezana s primanjem i interpretacijom somatosenzoričkih signala; a u stražnjoj se polovici zbivaju još viši stupnjevi interpretacije: vidni signali završavaju u okcipitalnom, a slušni u temporalnom režnju (Guyton i Hall, 2003: 544).

3.3.2. Osjet i percepcija

Svijest o osjetu formira se u područjima sekundarne kore mozga, što je osnovni preduvjet za percepciju (Mildner, 2003: 27). Percepcija je svjesno primanje, usvajanje i interpretacija podražaja izvana (*eksterocepcija*) ili iz vlastitog tijela (*interocepcija, propiocepcija*) (*ibid.*). Za pobuđivanje percepcije potrebni su intrakortikalni događaji. Nije moguće potpuno jasno razdvojiti osjet i percepciju; mnogi smatraju da je osjet supkortikalan, a percepcija kortikalna (Pinel, 1990, prema Mildner, 2003) ili, preciznije, da je osjet rezultat aktivnosti receptora i njihovih aferentnih putova do odgovarajućih osjetnih područja u moždanoj kori, a da je percepcija rezultat stanica u kori poslije prve sinapse u osjetnom dijelu kore (Kolb i Whishaw, 1996, prema Mildner, 2003). Johnson-Laird (1996: 437) donosi zanimljivu definiciju percepcije koja uključuje i dodatne dvije komponente: mišljenje i akciju.² Prema toj je definiciji, ukratko, percepcija zapravo *transformacija* vanjskih informacija u drugi model, mišljenje je *manipulacija* takvim modelima, a akcija je *djelovanje* nastalo na temelju mišljenja. To se trojno načelo može primijeniti na primjeru slušanja i govora. „Da bi se razvilo mišljenje čiji je rezultat govor, potrebno je slušanje, i to ne samo zvukova, nego i kompleksnih slušnih podražaja kao

² „Perception is the transformation of local information at the sensorium into a mental model of the world at a distance, thinking is the manipulation of such models, and action is guided by its results“ (Johnson-Laird, 1996: 437).

što su govorne strukture“ (Aras, 2018: 4). Prema tome, slušanjem se razvija mišljenje koje pak omogućuje i razvoj govora. Osim što je sve vrlo usko povezano, valja naglasiti i to da percepcija, mišljenje i govor počivaju na prostornoj organizaciji (Pansini, 1992b: 57). Tako Konrad Lorenz (prema Pansini, 1992b: 58) smatra da su se govor i mišljenje postupno i neprekidno razvijali od stereotaksije jednostaničnih bića do orijentacijskih prostornih reakcija i uvida čovjeka i do njegove sposobnosti rješavanja zadataka. To potvrđuje činjenicu da je percepcija doživljaj koji osim strukturiranja uključuje i prepoznavanje, pa tako zahtijeva i aktivnost struktura u kojima je sačuvano iskustvo pojedinca (Tadinac i Hromatko, 2012: 110). Prepoznaje se utemeljnost takvih postavki – iskustvo vrste svojom je sposobnošću snalaženja u prostoru „upisano“ u govorno-logičke aktivnosti čovjeka, pri čemu je percepcija osnovna karika komunikacijskog lanca.

3.3.3. Osjet i osjetilo

Također, još jedna važna razlika jest ona između pojmova osjet i osjetilo. Valja razlikovati to da je osjetilo senzorička anatomsko-fiziološka struktura, put od periferije do kore mozga, a osjet je senzorički modalitet, tj. sposobnost percepcije poruke određenog modaliteta. Osjetni organ je periferni dio osjetila. Da bi došlo do osjeta potrebno je da neki objektivni (fizikalni ili kemijski) proces u okolini ili u samom organizmu izazove određene promjene u perifernom dijelu osjetnog organa i da se ta promjena u obliku uzbuđenja proširi do osjetnog područja u moždanoj kori. Osjet se može protezati i izvan osjetila koje mu je primarno, što znači da osjetilo ne mora u sebi sadržavati isključivu sposobnost za jedan osjet, već za više njih. Pogotovo se preklapaju ona koja rade na principu mehaničkog podražaja (vestibularno osjetilo, propriocepcija i sluh). Na primjer, uho ima četiri osjeta: za otkrivanje pravca gravitacije, za linearno ubrzanje, za kutno ubrzanje, za otkrivanje i analizu zvučnih valova (Pansini, 1976: 2). Iako naša osjetila nisu ograničena samo na jednu vrstu podražaja, ipak svako osjetilo najbolje reagira na svoj dominantni, specifični podražaj, ali i na druge slične podražaje. Tako govorna informacija ne ulazi samo kroz slušni put, jer zvuk koji je mehanički val može podražiti i ostale putove, posebice one na koži pa se često kaže da „gluhi slušaju tijelom“ ili „kožom“. Fiziološki se to može objasniti upravo aktivacijom mehanoreceptora, tj. osjetnih tjelešaca koja inače služe za dodir i duboki osjet (Aras, 2018: 4). Govorni ili bilo koji drugi zvuk može izazvati akcijske potencijale, naročito ako se prenosi kroz gušći ili krući medij (npr. vibracijskom daskom, ili vibratorom za koštanu i somatosenzoričku vodljivost) (*ibid.*), ali o tome će biti više govora kasnije.

4. Pet osjetila spaciocepcije

Dat ćemo pregled anatomske građe svakog osjetila koji čine sustav za percepciju prostora i objasniti mehanizme pomoću kojih svaki osjet prima određeni modalitet.

4.1. Osjet sluha i slušno osjetilo

Uho je prije svega organ sluha, ali i ravnoteže, spajajući tako u sebi dva najvažnija ljudska senzorna sistema (Luers i Hüttenbrin, 2016).

Uho se sastoji od vanjskog, srednjeg i unutarnjeg uha. Dijelovi su anatomski i funkcionalno povezani. Vanjsko uho sastoji se od uške i zvukovoda, koji povezuje vanjsko i srednje uho. Srednje uho sastoji se od bubnjišta, sustava koščica koje prenose zvuk od bubnjića do pužnice, Eustachijeve cijevi i pneumatskih prostora, tzv. ćelija u mastoidnom nastavku i piramidi temporalne kosti (Padovan i sur., 1991: 4). U unutarnjem uhu nalazi se pužnica, zajedno s organom sluha – Cortijevim organom.

Filogenetski je nastarije unutrašnje uho. Prelaskom na kopno, kod kopnenih se životinja počinje razvijati srednje uho, a kod primata mehanizam za zaštitu od prejakih zvukova (Padovan i sur., 1991: 3). Sluh kao daljinski receptor nadomještava kopnenim bićima sposobnost daljinske percepcije opipom i vestibularnim osjetilom (Pansini, 1976: 8). Stoga ne čudi kako su ta osjetila usko povezana, pa su u piramidi sljepoočne kosti smješteni zajedno organi sluha i ravnoteže (Bumber i sur., 2004: 11).

Vanjsko uho. Vanjsko uho (*auris externa*) sastoji se od uške i zvukovoda. Uška (*auricula*) ima ulogu kolektora zvuka, prikupljajući ga izvana, iz različitih smjerova, što znači da ima utjecaja na određivanje smjera izvora zvuka: gore-dolje, naprijed-natrag. Prikupljajući zvuk, uška pridonosi slušanju oko 5 dB (Padovan i sur., 1991: 21). Uška se sastoji od hrskavice presvučene kožom, a na donjem kraju uške vidi se duplikatura kože, koja se naziva resica uške (*lobulus auriculae*) i u tom području nema hrskavice (Bumber i sur., 2004: 12). Oblik uške³ mijenja kvalitetu zvuka koji ulazi u uho, ovisno o smjeru iz kojega zvuk dolazi, što se postiže naglašavanjem određenih zvučnih frekvencija iz različitih smjerova (Guyton i Hall, 2003: 610).⁴

³ Uška zbog specifičnog reljefa podsjeća na školjku pa se naziva još i *ušna školjka*.

⁴ O smjeru izvora zvuka ovisi njegov frekvencijski sastav; zvuk koji dolazi straga ima u sebi mnogo manje visokih frekvencija jer zvuk lakše zaobilazi zapreke što je frekvencija niža, a što je frekvencija viša, to se zvuk širi pravocrtnije (Padovan i sur., 1991: 21).

Zvukovod (*meatus acusticus externus*) ili vanjski slušni hodnik cijev je dugačka 3,5 do 4 centimetra, promjera 0,5 do 1 centimetar, na presjeku nepravilno ovalna oblika. Zvukovod se sastoji od hrskavičnog (membranskog) i koštanog dijela. Lateralni dio prolazi kroz hrskavični kanal koji je izravan nastavak hrskavice uške, a medijalni dio prolazi kroz koštani kanal i ugrađen je u temporalnu kost. Na prijelazu između koštanog i hrskavičnog dijela promjer je zvukovoda najmanji i to mjesto zovemo *isthmus* (Padovan i sur., 1991: 4). Na medijalnome kraju koštanoga zvukovoda nalazi se žlijeb (*sulcus tympanicus*) u koji je uložen bubnjić (Bumber i sur., 2004: 13). Svojim oblikom poput trublje zvukovod dobro provodi akustičku energiju do bubnjića (Padovan i sur., 1991: 21).

Zvukovod, osim provodne funkcije, također ima i zaštitnu ulogu. Naime na početku zvukovoda nalaze se brojne dlačice i žlijezde lojnice, znojnice i ceruminalne žlijezde. Potonje luče cerumen koji oblaže kožu, a mirisom odbija kukce. Dok dlačice priječe ulaz u zvukovod, osjetljivost kože upozorava na opasnost od ulaska stranog tijela. Žlijezdama lojnicama i znojnicama zvukovod grije zrak i štiti srednje uho od jakih promjena temperature, a svojom zavijenosti otežava izravne ozljede bubnjića (Padovan i sur., 1991: 21).

Srednje uho. Srednje uho (*auris media*) obuhvaća bubnjište, pneumatske prostore srednjeg uha i Eustachijevu cijev.

Eustachijeva cijev (*tuba pharyngo-tympanica, tuba auditiva*) uzak je kanal u obliku procijepa, dugačak oko 3,5 cm, koji spaja ždrijelo s bubnjištem. Služi za provjetravanje bubnjišta i pneumatskih prostora te za izjednačavanje tlaka u prostoru ispred i iza bubnjića (Bumber i sur., 2004), odnosno za izjednačavanje zračnog tlaka između srednjeg uha i zvukovoda. Osim te ventilacijske uloge, Eustachijeva cijev ima i drenažnu ulogu jer pri nakupljanju iscjetka u srednjem uhu služi kao odvodna cijev. Medijalni je dio tube koštan, a lateralni hrskavičan (Padovan i sur., 1991: 5).

Bubnjište (*cavum tympani*) je šupljina veličine 1 cm³ u obliku nepravilne kocke. Veći dio lateralne stijenke bubnjišta čini bubnjić, gornji dio čini kost epitimpanona ili lubanjska kost (iznad koje se nalazi lubanjska šupljina i mozak), a donji dio čini kost hipotimpanona. Medijalna stijenka bubnjišta na sredini ima izbočinu početnog ili bazalnog zavoja pužnice (*promontorium*). Na toj koštanoj stijenci labirinta nalaze se dva otvora: iza izbočine prema dolje je okrugli prozorčić (*fenestra rotunda/fenestra cochlea*), a iznad nje ovalni prozorčić (*fenestra ovalis/fenestra vestibuli*), koji zatvara pločica stapesa. Iznad i iza ovalnog prozorčića prolazi

koštani kanal živca lica (*nervus facialis*), a iznad kanala smješten je lateralni polukružni kanal (*canalis semicircularis lateralis*).

Na lateralnoj stijenci bubnjišta je bubnjić (*membrana tympani*) koji predstavlja granicu između vanjskog i srednjeg uha. Sastoji se od tri sloja: 1. vanjski sloj, koji je prekriven stanjenom kožom zvukovoda; 2. srednji sloj – *stratum proprium* – koji se sastoji od sloja čvrstoga fibroznoga tkiva, 3. unutarnji sloj, koji čini sluznični epitel srednjeg uha. Donji dio bubnjića (*pars tensa*) je veći, a gornji dio (*pars flaccida* ili *membrana Shrapnelli*) je manji i nema stratum proprium (Padovan i sur., 1991: 6). U sredini, između kože i sluznice, nalazi se čvrsto vezivno tkivo.

Od bubnjića do ovalnog prozorčića proteže se lanac slušnih košćica koje su učvršćene ligamentima. Te su košćice: čekić (*malleus*), nakovanj (*incus*) i stremen (*stapes*). Za središte bubnjića pričvršćen je držak (*manubrij*) čekića, a na svom drugom kraju maleus je sićušnim ligamentima vezan za inkus, tako da se pri svakom pokretu maleusa s njim pokreće i inkus (Guyton i Hall, 2003: 602). Pločica stremena pričvršćena je uz rub ovalnog prozorčića, nasuprot kraja membranskog labirinta pužnice.

Na mjestu pričvršćenja manubrija za središte bubnjića dolazi do neprestanog povlačenja bubnjića prema unutra (povlači ga mišić *musculus tensor tympani*). Upravo zbog te napetosti, bubnjić nije postavljen okomito, nego koso, tj. s donjom stijenkom zvukovoda zatvara kut od 45° (Bumber i sur., 2004: 13). To pak omogućuje da zvučni titraji s bilo kojeg dijela bubnjića budu preneseni na maleus, što ne bi bilo moguće da je bubnjić mlohav (Guyton i Hall, 2003: 602). Bubnjić je tanak pa se na njemu izravno odražavaju sve patološke promjene koje se zbivaju u bubnjištu.

Uz slušne košćice vežu se dva mišića srednjeg uha. To su poprečno prugasti mišići: već spomenuti zatezač bubnjića (*musculus tensor tympani*) i zatezač stremena (*musculus stapedius*). Njihova je zadaća da svojom kontrakcijom smanjuju pokretljivost prijenosnog lanca slušnih košćica s ciljem zaštite unutarnjeg uha od jakih zvučnih valova. Naime smanjenom pokretljivošću smanjuje se i sposobnost provođenja akustičke energije koju primarno obavlja sustav slušnih košćica.

Kako to funkcionira? Pri jakom zvuku mišić *tensor tympani* povlači držak maleusa prema unutra, a *m. stapedius* povlači stapes prema van. Te dvije sile su suprotne i zato uzrokuju visok stupanj ukočenosti cijelog sustava slušnih košćica, što ima dvojaku funkciju: 1. zaštita pužnice od štetnih vibracija koje uzrokuju prejaki zvukovi; 2. prikrivanje zvukova niske

frekvencije u bučnom okolišu, što obično odstranjuje dobar dio pozadinske buke koja je niskih frekvencija, te omogućuje čovjeku da se koncentrira na zvukove iznad 1000 Hz, koje su najvažnije za govorno sporazumijevanje (Guyton i Hall, 2003: 602–603). Taj refleks slabljenja pokretljivosti slušnih košćica može smanjiti prijenos jakosti zvuka niske frekvencije čak za 30 do 40 dB (što otprilike odgovara razlici koja postoji između vrlo glasnog govora i šapta) (Padovan i sur., 1991: 22).

Pomoću bubnjića i slušnih košćica srednje uho prenosi akustičku energiju do labirinta i time čini najvažniji dio provodnog (konduktivnog) dijela slušnoga puta. No, osim što ima funkciju provođenja akustičke energije, srednje uho je i mehanički uređaj koji svladava prepreku mehaničkoj energiji da prijeđe iz rijetkog medija zraka u gusti medij tekućine labirinta, bez velikog gubitka (Pansini, 1976: 8). Tako bubnjić i slušne košćice transformiraju titraje zraka u titraje pločice stapesa i labirintne tekućine koji imaju manju amplitudu, a veći tlak (Padovan i sur., 1991: 21). Na taj način srednje uho pretvara tlačne valove u zraku u tlačne valove u tekućini te se usklađuje otpor (impedancija) između zraka i tekućine. Kraće rečeno dolazi do transformacije akustičke energije jer je akustička impedancija tekućine mnogo veća od impedancije zraka. Bez te pretvorbe najveći dio zvuka koji dopijeva do uha jednostavno bi se reflektirao natrag prema zvukovodu.

Unutarnje uho. Unutarnje uho (*auris interna*) ili labirint čini složeni sustav brojnih zavoja i kanalića. Sastoji se od koštanog (vanjskog) i membranskog (unutarnjeg) labirinta, koji oblikom prati koštani. Smješten je u petroznom dijelu temporalne kosti. Membranski dio labirinta (*labyrinthus membranaceus*) sadrži organ sluha (*organon Corti*) i organ ravnoteže ili vestibularni aparat: kupularni i otolitički organ. Koštani labirint (*labyrinthus osseus*) čine tri dijela: pužnica (*cochlea*), koja je sprijeda i dolje, predvorje (*vestibulum*) i polukružni kanali (*canales semicirculares*), koji su straga i gore (Bumber i sur., 2004: 15).

Tri polukružna kanala položena su u ravnine koje uglavnom odgovaraju ravninama našega trodimenzionalnoga prostora, a otvaraju se u predvorje (bit će detaljnije opisano u poglavlju o vestibularnom osjetilu). Labirint dijelimo na prednji, kohlearni, i stražnji, vestibularni (Padovan i sur., 1991: 8).

Pužnica (*cochlea*) je spiralni organ koji se sastoji od tri cijevi savijene u obliku kanala ili puževe kućice s dva i pol zavoja. Budući da je bazalni zavoj najveći, pužnica ima izgled stošca čija je osnovica okrenuta prema sluhovodu (unutrašnjem slušnom hodniku), a vrh prema naprijed, i dolje i lateralno (Padovan i sur., 1991: 8).

Koštani kohlearni labirint sastoji se od nekoliko komora, pa kažemo da na pužnici razlikujemo tri prostora, koji su odijeljeni *bazilarnom* i *Reissnerovom membranom* (koja se naziva još i *vestibularna membrana*). Prva od njih je gornja skala (*scala vestibuli*) koja se proteže do vrška pužnice, a na vršku (helikotremlu) spaja se s donjom skalom. U donju skalnu (*scala tympani*) otvara se okrugli prozorčić, a u gornju skalnu otvara se ovalni prozorčić. Između scale vestibuli i scale tympani nalazi se srednja skala (*scala media*).

Prostori unutar pužnice ispunjeni su tekućinom: *perilimfa* i *endolimfa*, koje su slične cerebrospiralnoj tekućini, a razlikuju se po sadržaju iona: endolimfa sadrži veću koncentraciju kalijevih iona, a perilimfa veću koncentraciju natrijevih iona. Perilimfa se nalazi u scali vestibuli i scali tympani, a endolimfa u scali mediji. Iz scale tympani perilimfa malim kanalićima ulazi u dio Cortijeva organa – Cortijev tunel, te čini kortilimfu koja oplakuje tijela osjetnih stanica (Padovan i sur., 1991: 24). Perilimfa iz skale tympani malim kanalićima ulazi u Cortijev tunel i tada je nazivamo *kortilimfa* (Bumber i sur., 2004: 68).

Srednja skala ima u presjeku najčešće oblik trokuta, čiju osnovicu čini bazilarna membrana na kojoj leži Cortijev organ s osjetnim stanicama, drugu stranicu tanka Reissnerova membrana, a treću stijenka pužnice sa spiralnim ligamentom (Padovan i sur., 1991: 8) ili *stria vascularis*.

Cortijev organ je receptorski organ koji stvara živčane impulse u reakciji na titranje bazilarne membrane (Guyton i Hall, 2003: 605). Građen je od potpornih i osjetnih stanica, koje predstavljaju receptore za sluh. Te su stanice podijeljene u jedan red unutrašnjih, bačvastih stanica s dlačicama (oko 3500 stanica) i u tri-četiri reda vanjskih, štapićastih stanica s dlačicama (oko 12 000) (Padovan i sur., 1991: 8; Guyton i Hall, 2003: 606). Najveće potporne stanice su Cortijevi stupovi koji čine cjelinu s retikularnom laminom (Padovan i sur., 1991: 24). Od Cortijeva organa odlazi *nervus cochlearis* koji zajedno s nitima za ravnotežu, koje čine *nervus vestibularis* i ličnim živcem, prolazi kroz unutarnji slušni hodnik (*meatus acusticus internus*) (Bumber i sur., 2004: 15).

Vanjske osjetne stanice, koje se nalaze lateralno od Cortijevih stupova, filogenetski su mlađe i vulnerabilnije, stoga prve propadaju pod štetnim utjecajima. Unutrašnje osjetne stanice, koje se nalaze medijalno od stupova, u pravilu ostaju duže očuvane (Padovan i sur., 1991: 26). Osjetne su stanice na bazi opletene završnim nitima slušnog živca, s time da će između 90 i 95% niti slušnog živca ići na unutrašnje stanice, a samo 5% na vanjske. Nije poznato zašto je tomu tako, ali to ukazuje na posebno važnu ulogu unutrašnjih stanica u zamjećivanju zvuka

(Guyton i Hall, 2003: 606). S druge strane, vanjske slušne stanice važne su za frekvencijsku selektivnost pužnice; proizvode zvuk, tj. generiraju otoakustičku emisiju kad su podražene akustičkim podražajem, ali i spontano (Durrant i Ferraro, 2000, prema Vlahović, 2014: 3). Vanjske su stanice brojnije i njihove su stereocilije dulje i jače vezane uz membranu tektoriju (Padovan i sur., 1991: 25). Budući da sadrže kontraktilne elemente, vanjske stanice omogućuju mehaničko gibanje u pužnici (Vlahović, 2014: 3).

Sve osjetne stanice na površini imaju cilije (dlačice), koje su kod vanjskih osjetnih stanica veće i zovu se *stereocilije*. Dlačice su uložene u sačastu strukturu retikularne lamine (*lamina retikularis*), a prekrivene su membranom tektorijom za koju se učvršćene. Titraji labirintarnih tekućina zatitiraju bazilarnu membranu, a time dolazi i do gibanja Cortijeva organa (Vlahović, 2014: 3). Pomicanjem bazilarne membrane prema gore, pomiču se osjetne stanice zajedno s retikularnom laminom, pa se dlačice pod pritiskom tektorijalne membrane savijaju prema van, a pri pomicanju bazilarne membrane prema dolje, savijaju se u suprotnome smjeru (Padovan i sur., 1991: 25). Kad se bazilarna vlakna saviju prema skali vestibuli, stanice s dlačicama se depolariziraju, a kad se saviju u suprotnom pravcu stanice se hiperpolariziraju, čime se stvara izmjenični receptorski potencijal stanica s dlačicama (Guyton i Hall, 2003: 607).

Savijanjem dlačica mijenja se propusnost stanične membrane za ione i tako unutarnje slušne stanice pretvaraju zvuk u promjene membranskog potencijala (Vlahović, 2014: 3), što pak podražuje vlakna slušnog živca koja se prekopčavaju na bazama stanica s dlačicama i koji prenosi informacije u jezgre slušnog sustava.

4.1.1. Prijenos zvuka – putujući val i tonotopija

Zvuk određene frekvencije putuje bazilarnom membranom sve do mjesta svoje rezonantne frekvencije na toj membrani. Ovako se ukratko objašnjava teorija putujućega vala. Bazilarna membrana izgrađena je od 20 000 do 30 000 niti (bazilarnih vlakana), s time da nije jednake širine na svim dijelovima: najuža je uz *fenestru ovalis*, a najšira uz apeks, ili pri vrhu. Kraće niti su napetije i čvršće, a samim time i kruće, dok su duže gipkije i elastičnije. Rezonantno mjesto za zvukove visokih frekvencija (koji imaju kratku valnu duljinu) na kratkim je i zategnutim nitima uz ovalni prozorčić, a za zvukove niskih frekvencija (koji imaju veću valnu duljinu) na duljim i labavijim nitima uz vrh pužnice. Za zvukove srednjih frekvencija rezonantno mjesto je u srednjem dijelu bazilarne membrane.

Taj se prostorni raspored preslikava među vlaknima slušnog puta na cijelom putu od pužnice do kore mozga. Drugim riječima, pojedine frekvencije zvuka aktiviraju točno određene

neurone. Prema tome, glavni način na koji živčani sustav raspoznaje zvukove različitih frekvencija jest određivanje mjesta na bazilarnoj membrani koja su najjače podražena. Taj se način naziva *načelo mjesta* za određivanje frekvencije zvuka (Guyton i Hall, 2003: 607). Apikalni dio bazilarne membrane podražuju svi zvukovi čija je frekvencija manja od 200 Hz. Ti se zvukovi razlikuju prema *načelu frekvencije*, tj. odašilju se salve impulsa jednakom frekvencijom kao što je frekvencija tog podražaja (Vlahović, 2014: 4).

Svaki val je na početku razmjerno slab i postaje sve jači kako se približava onome mjestu bazilarne membrane koje je toliko široka da njezini titraji rezoniraju s frekvencijom zvučnog podražaja (Padovan i sur., 1991: 26). Bazilarna membrana upravo na tom mjestu zatitra najjače i potom se titraj ugasi. Ako je zvučni val visoke frekvencije, prijeći će samo kratak put uzduž bazilarne membrane jer će vrlo brzo stići do svoje rezonantne točke, na kojoj će potrošiti svu svoju energiju i zatim zamrijeti. S druge strane, val vrlo niske frekvencije prijeći će cijelu duljinu bazilarne membrane jer je mjesto njegove rezonantne frekvencije pri apeksu. Prema tome, zaključuje se da osjetljivost za frekvencije koje su više od karakteristične naglo prestaje, dok postoji za gotovo sve one niže od karakteristične (Bumber i sur., 2004: 70).

Opisano se načelo može svesti pod jedan naziv – *tonotopija*. Osim na razini pužnice, ona se preslikava i na ostale strukture slušnog puta. Tonotopija na razini slušnog živca znači da svaki neuron najbolje odgovara na određenu frekvenciju, i to na mjestu karakterističnom za tu frekvenciju.

4.1.2. Središnji slušni mehanizmi

U pužnici se karakteristike zvučnog podražaja kodiraju u određeni oblik neuralne aktivnosti kako bi se zvučni podražaj mogao analizirati i obraditi u središnjem slušnom sustavu. Pored frekvencije akustički parametri koje treba kodirati su: intenzitet, trajanje i smjer zvuka, a zovemo ih *osnovnim svojstvima slušanja* (Vlahović, 2014: 5).

Slušni je put mreža odvojenih, isprepletenih živčanih mehanizama koji su prilagođeni prijenosu vrlo specifičnih, detaljnih informacija s periferije u mozak (Mildner, 2003: 29). Kompleksniji je od ostalih senzoričkih sustava, vjerojatno i zato jer se razvio kasno na filogenetskoj ljestvici. S obzirom na to, nije izolirani put u središnjem živčanom sustavu nego je morao uključiti dijelove već razvijenih neuralnih sustava (Lonsbury-Martin i sur., 1996, prema Vlahović, 2014: 6). Osobito je važna njegova povezanost s onima putovima koji prenose podražaje iz drugih spaciocepcijskih osjetila, o čemu će kasnije biti više govora.

Razlikujemo *specifični* i *nespecifični* slušni put. Specifični (direktni) slušni put sastoji se od aferentnog i eferentnog dijela. Naziva se specifičnim zato što se njime prenosi uglavnom akustička informacija, a kada poruka stigne u akustičke jezgre, ona se dalje prenosi i nespecifičnim, konvergentnim ili neprimarnim slušnim putovima. Nespecifičan aferentni put je anatomski manje jasno prepoznatljiv, ali je povezan sa specifičnim na svim razinama, a čine ga: regije mezencefaličke retikularne formacije, talamusa i korteksa, koje primaju obavijesti iz više senzoričkih organa (Padovan i sur., 1991: 29).

4.1.3. Aferentni slušni put

Aferentnim putem podražaj prolazi kroz neuralne strukture u kojima su sinapse skupljene u jezgre (Vlahović, 2014: 6). Živčani završeci koji čine sinapsu s osjetnim stanicama u pužnici su dendriti neurona spiralnog ganglija, koji leži u modiolusu (središtu, spiralnoj srži) pužnice (Guyton i Hall, 2003: 606). Živčane stanice spiralnog ganglija pak šalju aksone u slušni živac i odande u središnji slušni sustav. No do dolaska u središnji živčani sustav, akustički signal prolazi nekoliko etapa.

Prvi neuron slušnog puta čine neuroni slušnog živca koji se nalaze u unutarnjem uhu u spiralnom gangliju pužnice i izravno su povezani s receptorima u Cortijevu organu. Njihovi aksoni priključuju se vestibularnom dijelu vestibulokohlearnog živca. Slušni živac (*nervus cochlearis*) ogranak je vestibulokohlearnog živca (*nervus vestibulocochlearis*) i sastoji se od 30 000 do 40 000 aksona.

Živčana vlakna iz Cortijeva spiralnog ganglija ulaze u stražnju i prednju ipsilateralnu kohlearnu jezgru (*nucleus cochlearis*), koje su smještene u gornjem dijelu produljene moždine (Guyton i Hall, 2003: 608) i u njima započinje centralno slušno procesiranje pa se kaže da predstavljaju prvu razinu obrade periferne slušne poruke (Bumber i sur., 2004: 71). U kohlearnim jezgrama također postoji tonotopska organizacija, odnosno oponašanje/ponavljanje rasporeda frekvencija u pužnici.

Iz kohlearnih jezgara neuroni drugog reda putuju kroz trapezoidno tijelo do gornje olivarne jezgre (*nucleus olivaris superior*), gdje se odabiru slušne informacije koje će se dalje prenijeti na gornji olivarni kompleks, a one nevažne se izostavljaju. Dok većina živčanih niti iz kohlearnih jezgara odlazi u kontralateralnu olivu, manji broj vlakana drugog reda odlazi u gornju olivarnu jezgru na istoj strani (ipsilateralno). „Trapezoidno tijelo slušnu poruku iz kohlearnih jezgara prenosi u kontralateralne gornje olive, a manjim dijelom u ipsilateralne

dijelove. Na toj se razini zbog komisuralnih veza prvi put prepoznaje smjer izvora zvuka i omogućuje stereofonsko slušanje“ (Bumber i sur., 2004: 71).

Gornji olivarni kompleks je mjesto prvih poprečnih veza između desne i lijeve strane (Padovan i sur., 1991: 28). Naime neuroni u gornjoj olivi obiju strana imaju po dva velika dendrita: u desni ulazi informacija iz lijevog uha i lijeve kohlearne jezgre, a u lijevi ide informacija iz lijevog uha i lijeve kohlearne jezgre, a ti dendriti mogu registrirati razlike u vremenu aktivacije iz lijevog odnosno desnog uha, koje su reda veličine nekoliko mikrosekundi. Na toj se sposobnosti djelomično temelji sposobnost određivanja mjesta izvora zvuka, odnosno lokaliziranje zvuka u prostoru (Thompson, 1993; Gazzinga i sur., 2002, prema Mildner, 2003: 28). Čovjek može razlikovati čak i zvukove koji dolaze iz izvora razdvojenih samo jedan kutni stupanj (Lonsbury-Martin i sur., Newman i sur., 2000; prema Vlahović, 2014: 7).

Od gornje olivarne jezgre slušni put ide prema gore kroz lateralni lemnisk (*lemniscus lateralis*). Između dviju jezgara lateralnog lemniska nalazi se tzv. *Probstova komisura* u kojoj dolazi do ponovnog križanja slušnih putova. Dakle, neka vlakna završavaju u jezgri lateralnog lemniska, a mnoga ukrižena projekcijska vlakna zaobilaze tu jezgru i dolaze u donje kolikule suprotne strane.

Donji kolikuli (*colliculus inferior*) primaju obostrane signale iz gornjih oliva, ali i neizravno iz kohlearnih jezgara preko lateralnog lemniska. Tako su donji kolikuli mjesto na kojem se prekopčavaju sva ili gotovo sva slušna vlakna (u komisuri koja povezuje dva donja kolikula), te obrađuju slušne informacije (Guyton i Hall, 2003: 608). Svaki je donji kolikul integracijska jezgra središnjeg slušnog puta, gdje se sastaje više od deset projekcija iz nižih slušnih jezgara u moždanom deblu, iz kontralateralnog donjeg kolikula i iz slušne kore (Syka i sur., 2002, prema: Mildner, 2003: 29).

To je posljednja nakupina ganglijskih stanica u kojoj se još izravno ponavlja frekvencija podražaja, dok na višim razinama nema takvog izravnog ponavljanja, nego je informacija o frekvenciji kodirana. Donji kolikuli bogati su neuronima za prepoznavanje interauralne intenzitetske razlike, vremenske razlike i desne i lijeve strane poruke (Bumber i sur. 2004, Padovan i sur. 1991).

Iz donje kolikularne komisure akustička vlakna, odnosno aksoni trećeg i četvrtog neurona slušnog puta odlaze u medijalno koljenasto tijelo (*corpus geniculatum mediale*) – posljednju sinapsu u moždanom deblu. U medijalnoj genikulatnoj jezgri sva se vlakna ponovno prekopčavaju. Medijalno koljenasto tijelo nalazi se u metatalamusu i sadrži neurone osjetljive

na somatosenzoričke i akustičke podražaje, te stanice osjetljive na kompleksne zvukove: one detektiraju glasove, procesiraju foneme i vjerojatno služe slušnom pamćenju (Vlahović, 2014: 8).

Tonotopska organizacija na toj razini manifestira se projekcijom ventralnog dijela medijalnog koljenastog tijela u primarnu slušnu koru sljepoočnog režnja (Brodmannovo polje 41), medijalnog dijela u druge regije sljepoočnog režnja (Brodmannova polja 42 i 43), a projekcijom dorsalnog dijela u tzv. asocijativne regije velikog mozga (Mildner, 2003: 29). Aksoni medijalnog koljenastog tijela oblikuju akustičku radijaciju. Konačno, aksoni četvrtog i petog neurona odlaze tom slušnom radijacijom do primarne slušne kore (Brodmannova polja 41 i 42), koja je smještena u gornjoj vijuzi temporalnog režnja (Guyton i Hall, 2003: 608). Vlakna slušne radijacije zadržavaju tonotopski raspored tako da se određeni dijelovi medijalnog koljenastog tijela projiciraju u određena kortikalna područja (Lonsbury-Martin i sur., 1996, prema Vlahović, 2014: 8).

4.1.4. Slušna kora

Slušna kora je organizirana u slojeve i stupiće, a stanice unutar jednog stupića podešene su na istu frekvenciju. Uistinu, na korteksu također postoji tonotopska organizacija koja ponavlja frekvencijski raspored kakav postoji i u pužnici (Padovan i sur., 1991: 28). Ta je redundantnost ključ sposobnosti da analiziramo i razumijemo vrlo složene zvukove (Mildner, 2003: 29). Zvukovi koji su posebno važni za komunikaciju često imaju takvu kompliciranu vremensku strukturu. Stoga slušni korteks ima posebno važnu ulogu u procesiranju takvih informacija, tj. diskriminaciji kompleksnih zvukova ili pak vremenskog slijeda zvukova (Purves i sur., 2001, prema Vlahović, 2014: 9). Fiziološke karakteristike slušne kore prema Bumberu i sur. (2004: 72) jesu:

- tonotopska prostorna raspodjela tonskih frekvencija
- binauralna raspodjela frekvencijskih impulsa
- lateralna inhibicija
- kompenzacija
- habituacija.

Na razini moždane kore slušni putovi lijeve i desne hemisfere povezani su preko korpusa kalozuma (Mildner, 2003: 29). Razlikujemo primarnu, sekundarnu i tercijarnu slušnu koru. Primarna slušna kora (Brodmannovo polje 41 i 42) nalazi se na gornjoj površini gornje sljepoočne vijuge u Wernickeovu centru, a sadrži preciznu tonotopsku mapu (Vlahović, 2014: 9). Organizirana je tako da u nju informacije pristižu specifičnim putovima, dakle izravnim

sinaptičkim prijenosom. S druge strane, sekundarna i tercijarna slušna kora obrađuju slušne informacije pomoću mnogih multisenzoričkih obavijesti, dakle nespecifičnim slušnim putovima (Padovan i sur., 1991: 28). Primarna slušna kora mozga prima podražaje prvenstveno iz suprotnog uha preko ipsilateralnog medijalnog koljenastog tijela. Informacija iz primarne slušne kore izravnim sinaptičkim prijenosom dopijeva u sekundarnu i tercijarnu slušnu koru (Bumber i sur., 2004: 72).

Sekundarna slušna kora (Brodmannovo polje 22) omogućuje viši stupanj tumačenja senzornih doživljaja, te se u tim područjima događa kompleksna analiza osjetnih informacija pojedinog osjeta. Tu su pohranjeni engrami, slušne slike, koji čine neurofiziološku osnovu prepoznavanja fonema i govora te shvaćanja njihova smisla (Padovan i sur., 1991: 28).

Tercijarna ili heteromodalna asocijativna područja (Brodmannova polja 9–12 i 46 u prefrontalnom području, te polja 39 i 40 u tjemenu reznju) primaju podražaje iz različitih unimodalnih područja (sekundarnih senzornih područja), iz čega slijedi da su osjetljiva na različite osjetilne podražaje. U tercijarnoj slušnoj kori, u asocijativnim područjima, događaju se najzahtjevnije obrade osjetnih informacija: uspoređivanje pristiglih podataka iz vidnog i somatosenzoričkog područja sa slušnim pa tako nastaju predodžbe i logičko povezivanje (*ibid.*).

4.1.5. Eferentni slušni put

Slušna kora mozga nije samo krajnja točka analize odozdo prema gore nego i važan dio sustava odozgo prema dolje, koji se aktivno usmjerava na pojedine aspekte zvučnog podražaja, ovisno o tipu informacije, koje treba izvući iz ulaznog obrasca (Scheich i sur., 2002, prema Mildner, 2003: 31).

Eferentni slušni put ide u suprotnom smjeru od aferentnog slušnog puta, polazeći od korteksa prema pužnici, tj. Cortijevom organu. Eferentni se slušni put dijeli u dva dijela: koru i rostralni dio moždanoga debla i donji dio moždanoga debla. Oba sustava iz slušne kore dijele se tako što jedan ulazi u *corpus geniculatum mediale*, a drugi u više slušnih jezgara u moždanome deblu i osjetilnih stanica u pužnici (olivokohlearni snop) (Bumber i sur., 2004: 73).

Preko eferentnog slušnog puta središnji živčani sustav utječe na svoj senzorički ulaz, tj. na aferentni slušni put pojačavanjem (ekscitacijom) ili smanjenjem (inhibicijom) živčanih signala i potiskivanjem neželjenih signala (Bumber i sur., 2004: 72), tj. nepotrebnih elemenata poruke. U tome svojoj ulogu ima i retikularna formacija koja izabire važnu od nevažne poruke (primjerice, potiskujući slušnu, izabire vidnu informaciju kao važniju). Svaka viša slušna razina

djeluje na nižu zaustavljajući nepotrebne elemente poruke, tako da do kore stigne manje od 1% periferno primljenih elemenata (Padovan i sur., 1991: 28).

4.2. Osjet ravnoteže i vestibularno osjetilo

Vestibularni aparat osjetni je organ koji zamjećuje osjete ravnoteže, ali i pomaže slušanju na trima razinama: na perifernoj razini vestibulokohlearnim slušanjem, na supkortikalnoj razini integrativnom funkcijom u sustavu za percepciju prostora, a na kortikalnoj u stvaranju prostornih predodžbi i gramatike (Pansini, 1989a: 108). Glavna je uloga vestibularnog aparata registriranje pokreta i položaja tijela u prostoru te koordiniranje pokreta mišića radi održavanja ravnoteže. Izvršni organ vestibularne funkcije su agonističke i antagonističke grupe mišića.

Prema većini autora koje navode Palla i Lenggenhager (2014) postoji također snažna međuovisnost vestibularnog aparata s mnogim različitim kognitivnim procesima, poput: prostorne orijentacije (Angelaki i sur., 2009), percepcije prostora (Ferre i sur., 2013), reprezentacije tijela (Lopez i sur., 2010; Ferre i sur., 2013), mentalne slike (Lenggenhager i sur., 2008; Falconer i Mast, 2012; Van Elk i Blanke, 2014), pažnje (Figliozzi i sur., 2005), pamćenja (Smith i sur., 2010), sposobnosti percepcije opasnosti (Mckay i sur., 2013), pa čak i socijalnog zapažanja (Lopez i sur., 2013). Bilo ih je nužno sve navesti radi isticanja značenja vestibularnog sustava u senzoričkoj integraciji, što će biti od izuzetne važnosti u verbotonalnoj rehabilitaciji (o čemu će kasnije biti više govora).

Vestibularni aparat na svakoj strani sastoji se od sustava koštanih kanala i komora u tvrdome dijelu temporalne kosti, nazvanoga koštani labirint. Unutar koštanog labirinta smješten je sustav membranskih kanala i komora koji se zove membranski labirint, a on predstavlja funkcionalni dio vestibularnog aparata (Guyton i Hall, 2003: 641). Koštani i membranski labirint međusobno su odvojeni perilimfom, koja oplakuje i štiti membranski labirint, koji je pak ispunjen endolimfom. Membranski labirint sastoji se od pužnice, triju polukružnih kanala i otolitičkih organa – mjehurića ili mješnice (*utricle*) i vrećice (*sacculus*) u kojima se nalaze osjetne stanice. Na svakom polukružnom kanalu nalazi se zadebljanje – ampula.

Koštani labirint čine predvorje (*vestibulum*) i tri polukružna kanalića (*canals semicirculares ossei*) – prednji (*ductus semicircularis anterior*; gornji), stražnji (*ductus semicircularis posterior*; usporadni) i bočni (*ductus semicircularis lateralis*; vodoravni;

lateralni, postranični) – koji stoje jedan prema drugome pod kutem od 90° i koji se otvaraju u predvorje. Budući da su raspoređeni tako da međusobno zatvaraju pravi kut, na taj način predočavaju sve tri ravnine u prostoru (Guyton i Hall, 2003: 643). Kanalići su različite dužine: stražnji je najduži (oko 22 mm) i čini gotovo puni krug; prednji je nešto kraći i zatvara 2/3 kruga, a bočni je najkraći i tvori tek pola kruga. Svaki polukružni kanal ima na jednom kraju proširenje nazvano *ampula* (*ampula ossea anterior, posterior et lateralis*). Kanalići i ampula ispunjeni su tekućinom endolimfom. U funkcionalnom su paru dva bočna kanala te prednji jedne strane sa stražnjim druge strane (Padovan i sur., 1991: 61). Drugim riječima, prostorni raspored u glavi takav je da po jedan kanalić sa svake strane čini par s kanalićem druge strane i leži s njim u istoj ravnini (Bumber i sur., 2004: 91).

Vestibularno osjetilo smješteno je u membranskome labirintu, a sastoji se od dvaju osnovnih dijelova – otolitičkog i kupularnog osjetila (Maslovara i Butković Soldo, 2011: 20; Pansini, 2001). Otolitičko i kupularno osjetilo čine potporne i osjetne stanice; posljednje se zovu i stanice s dlačicama jer posjeduju čuperke trepetljika na površini.

Otolitičko osjetilo. Otolitičko osjetilo sastoji se od utrikula i sakula. Na unutarnjoj površini utrikula i sakula nalazi se malo osjetno područje, promjera nešto većeg od 2 mm, nazvano *makula*. Jednako kao što postoje stanice s dlačicama u Cortijevom organu unutarnjeg uha, tako postoje i receptori otolitičkog osjetila – osjetilne stanice smještene u *maculi utriculi* i *maculi sacculi*, koje pružaju svoje cilije prema gore, u gelatinozni sloj koji prekriva makulu (Guyton i Hall, 2003: 642). Svaka stanica s dlačicama ima 50 do 100 malih cilija, nazvanih *stereocilije*, i jednu veliku – *kinociliju*. Kinocilija je uvijek smještena na jednoj strani stanice, a stereocilije postaju sve kraće idući prema suprotnoj strani stanice te su razmjerno krute, dok je kinocilija savitljiva i u dodiru s bazalnim tjelešcem. Bazalni i postranični dijelovi stanica s dlačicama tvore sinapse s osjetnim završecima vestibularnoga živca (Guyton i Hall, 2003: 642).

Makula utrikula leži uglavnom u vodoravnoj (horizontalnoj) ravnini na donjoj površini utrikula i ima važnu ulogu u određivanju položaja glave s obzirom na smjer sile teže kad se čovjek nalazi u uspravnom položaju (savijanje glave prema naprijed, nagnjanje glave prema natrag ili u stranu) (Guyton i Hall, 2003: 642–643). Budući da su receptori otolitičkih osjetila međusobno postavljeni pod kutom od 90°, tako da pokrivaju cjelokupni, trodimenzionalni prostor (Maslovara i Butković Soldo, 2011: 26), suprotno makuli utrikuli, makula sakula uglavnom je u okomitoj (sagitalnoj) ravnini i stoga je važna u održavanju ravnoteže kad čovjek leži te za pomicanje naprijed-natrag, lijevo-desno (Guyton i Hall, 2003).

Kupularno osjetilo. Kupularno osjetilo sastoji se od tri kupule smještene u ampulama (proširenom dijelu) polukružnih kanalića (*ampula ossea anterior, posterior et lateralis*). U svakoj se ampuli svakog polukružnog kanala nalazi mali greben nazvan ampularna krista (*crista ampullaris*). Na vrhu grebena je rahla gelatinozna masa, nazvana *kupula*. Kupularno osjetilo reagira na promjene brzine i smjera kutnog gibanja te bilježi ubrzavanje i usporavanje rotacije (Pansini, 1976: 4; 2001). Kada se glava počne okretati u određenom smjeru, polukružni kanali okreću se zajedno s glavom, ali tekućina u jednom ili u više polukružnih kanala zbog svoje inercije ostaje nepomična (Guyton i Hall, 2003: 643). Kao i otolitičko, kupularno osjetilo je također sastavljeno od velikog broja stereocilija i jedne kinocilije.

Vestibularni su mehanoreceptori otolitičke i kupularne osjetne stanice. Iz osjetnih stanica vestibularnog aparata (iz tri kupule polukružnih kanala, iz makula utrikulusa i sakulusa) stalno idu bioelektrički potencijali, i onda kad tijelo miruje (Pansini, 1967: 107). Isto potvrđuju i Angelaki i Cullen (2008: 126) koje navode da su vestibularni aferentni putovi neprestano aktivni čak i u stanju mirovanja te da su vrlo osjetljivi na promjene ubrzanja kretanja i rotiranje glave u prostoru. Osim toga, autorice (*op. cit.*: 127) navode dva problema u tumačenju informacija iz perifernih vestibularnih senzora. Prvi je problem rotacije, koji se javlja zato što je vestibularno osjetilo fizički učvršćeno u glavi. Tijekom rotacije aferentni putovi polukružnih kanala opažaju kretanje endolimfe u odnosu na koštane kanale učvršćene u lubanju (Goldberg i Fernandez, 1975, prema Angelaki i Cullen, 2008: 127), kodirajući kutnu brzinu (kutno ubrzanje) glave, ali ne pružajući istodobno informacije o tome kako se glava pomiče u odnosu prema vanjskom svijetu (Angelaki i Cullen, 2008: 127). Drugi problem vide u tome što otolitički organi zamjećuju linearno ubrzanje glave, ali ne mogu razlikovati *translacijske* (npr. linearno gibanje tijela prema naprijed ili hodanje) od *gravitacijskih* (npr. nagnjanje glave unatrag) komponenti (Fernandez i Goldberg, 1976, prema Angelaki i Cullen, 2008: 127). Ta se dvoznačnost signala iz vestibularnih centara usklađuje u mozgu gdje se, prikladnim kombiniranjem signala iz polukružnih kanala i signala iz otolitičkih organa, vrši pouzdana procjena orijentacije i kretanja u odnosu na svijet (Merfeld 1995; Glasauer i Merfeld 1997; Angelaki et al. 1999; Zupan *et al.* 2002; Green *et al.* 2005, prema Angelaki i Cullen, 2008: 127).

Osjetilne stanice s trepetljikama u vestibularnom organu jamačno su se razvile već u vodenih životinja prije razvoja kralježnjaka. Njihova funkcija je bila da opažaju promjene toka vode u odnosu na površinu tijela (Bumber i sur., 2004: 93). Pansini (1976: 4) je naglašavao kako je opip za čovjeka eksteroreceptor koji daje podatke o događajima na površini tijela, ali

da je kod bića koja žive u tekućini daljinski receptor, i to nanovo postaje kad se tijelo uroni u tekućinu. Budući da je dodirnom tada moguće određivati smjer izvora mehaničkog gibanja ili zvuka, a vježbom identificirati odašiljač poruke, nameće se potreba da proces rehabilitacije teško nagluhog ili gluhog djeteta započne upravo u vodi.

Stanice vestibularnog osjetila su vrlo osjetljivi mehanoreceptori koji reagiraju i na najmanji podražaj promjenom broja svojih akcijskih potencijala. Za vrijeme podražaja (što može biti promjena sile teže, ubrzavanje ili usporavanje) dolazi do pomaka endolimfe, a time i do pomaka cilija što rezultira promjenama propusnosti stanične membrane, a time i promjenama ionskih koncentracija i struja (Bumber i sur., 2004: 92). Svijanjem stereocilija i kinocilije u smjeru kinocilije, u membrani živčane stanice oko baze stereocilije otvara se stotina tisuća kanalića s tekućinom koji su specifično propusni za veliku količinu pozitivnih iona, a to uzrokuje depolarizaciju receptorske membrane (Guyton i Hall, 2003: 643), uz posljedično otpuštanje neurotransmitera u sinapsu koji na završecima vestibularnog živca izazivaju povećanje broja akcijskih potencijala. Obrnuto, savijanje mnoštva dlačica u suprotnome smjeru (dalje od kinocilije), smanjuje napetost pričvršnih niti, pa se ionski kanali zatvore i nastaje hiperpolarizacija (Guyton i Hall, 2003: 643) te smanjeno otpuštanje neurotransmitera i smanjenje broja akcijskih potencijala na živčanim završecima. Očito je da, dok u makuli s jedne strane broj akcijskih potencijala raste, na drugoj se smanjuje, a isto vrijedi i za kupule polukružnih kanalića parnjaka (Bumber i sur., 2004: 92).

Kad je glava u ravnotežnom položaju, makule u sakulusima desne i lijeve strane stoje okomito, u utrikulusima vodoravno, pa su pod kutem od 90° jedne prema drugima, ali su i istovrsne makule jedne prema drugima pod kutem od 90°, što je geometrijski način raščlanjivanja pokreta u tri ravnine prostora (Padovan i sur., 1991: 60). Taj sustav utrikula i sakula djeluje izvanredno učinkovito u održavanju ravnoteže kad je glava u gotovo okomitom položaju. Prema tome u živčanim vlaknima koja odlaze od makula za svaki položaj glave nastaju različiti obrasci podražaja, a upravo ti „obrasci“ obavještavaju mozak o položaju glave s obzirom na gravitaciju, na djelovanje sile teže, a vestibularni, cerebralni i retikularni motorički sustavi podraže odgovarajuće mišiće za stav tijela koji će održati ravnotežu (Guyton i Hall, 2003: 643).

Signali iz polukružnih kanala i otolitičkih organa su komplementarni; dok polukružni kanali (bočni, prednji i stražnji) mjere kutno ubrzanje, otolitički organi (utrikulus i sakulus) kodiraju linearno ubrzanje (Agelaki i Hess, 2005: 967), odnosno promjene brzine i smjera linearnog gibanja. Njihova kombinirana aktivacija nužna je za razumijevanje golemog raspona

fizičkih pokreta koji se doživljavaju u svakodnevnom životu jer doprinosi iznenađujućem rasponu funkcija, od refleksa do najviših razina percepcije i svijesti (Angelaki i Cullen, 2008: 126). Polukružni kanali ne zamjećuju da se tijelo pomaknulo iz ravnoteže prema naprijed, u stranu ili prema natrag. Prema tome, funkcija polukružnih kanala nije održavanje statične ravnoteže ili održavanje ravnoteže pri jednoličnim istosmjernim pokretima, nego oni zamjećuju to da se glava počela ili prestala okretati u jednome ili drugome smjeru, a jednako tako mehanizam polukružnih kanala predviđa gubitak ravnoteže čak i prije nego što se to dogodi, i tako potiče centre za održavanje ravnoteže da učine prikladne preventivne prilagodbe (Guyton i Hall, 2003: 644–645).⁵

4.2.1. Vestibularni put – od vestibularnog aparata do središnjeg živčanog sustava

Glavni put za reflekse kojima se održava ravnoteža započinje u vestibularnim živcima, a njih podražuje vestibularni aparat. Signali se tim živcima prenose u vestibularne jezgre i u mali mozak. Dendriti prvog neurona, odnosno vestibularnog živca dovode impulse iz krista i makula, a aksoni čine vestibularni dio VIII. živca. Manji dio tih vlakana, koja ne završavaju na vestibularnim jezgrama, ide neprekinut do jezgara okulomotornih živaca i kao primarne vestibulocerebelarne niti do nekih dijelova maloga mozga (Bumber i sur., 2004: 93).

Od vestibularnih jezgara polaze uzlazni sekundarni neuroni prema okulomotornim jezgrama, malom mozgu, retikularnoj ili mrežastoj formaciji i kori velikog mozga. Lateralni i medijalni vestibulospinalni put jesu silazne niti koje čine vestibularne jezgre povezane s mišićima vrata, proprioceptivnim elementima u malim zglobovima vratne kralježnice, s nitima iz malog mozga i ostalih senzoričkih sustava (Bumber i sur., 2004: 93). U vestibularnim jezgrama vrši se koordinacija i integracija impulsa bilo kojeg pokreta. Svaki dio labirinta šalje svoje impulse, koji su drugačiji s obzirom na podražaj (ovisno o položaju tog dijela labirinta na smjer ubrzanja ili usporenja te ovisno o osjetljivosti tih elemenata na povećanje i smanjenje pritiska endolimfe) (Pansini, 1967: 107).

U perifernim se receptorima vestibularnog osjetila svako gibanje tijela analizira, rastavlja na geometrijske elemente u ravninama prostora, a u centralnim se strukturama podaci iz desnog i lijevog labirinta sintetiziraju u prostorni pokret (Pansini, 1976: 4–5). Proprioceptivno-vestibularne interakcije, zajedno s motoričkim odzivom, omogućuju mozgu da razlikuje aktivne od pasivnih pokreta glave. Zanimljivo istraživanje proveli su Roy i Cullen

⁵ Jednako tako, gubitak funkcije polukružnih kanala uzrokuje poremećaj ravnoteže pri pokušaju izvođenja brzih i složenih promjena pokreta tijela (Guyton i Hall, 2003: 644), što ukazuje koliko su važni za normalno funkcioniranje čovjeka u prostoru.

(2004), ispitujući selektivnu eliminaciju vestibularne osjetljivosti na aktivne (samoinducirane) pokrete glave dok tijelo miruje, ili na pasivne pokrete cijelog tijela koji su inducirani okretanjem podloge. U svom su istraživanju, koje je provedeno na četiri majmuna ispitivana u odobrenim uvjetima, došli do zaključka da neuroni u vestibularnoj jezgri (koji inače primaju izravne podražaje iz vestibularnih aferentnih putova) reagiraju na brzinu pokretanja glave tijekom generiranih rotacija cijeloga tijela, ali da ti isti neuroni ne pružaju pouzdane informacije tijekom aktivnih pokreta glave majmuna dok tijelo miruje. Taj se mehanizam eliminacije može objasniti time što su vestibularni signali koji pristižu iz samogeneriranih pokreta glave inhibirani mehanizmom koji uspoređuje informacije iz mozga (unutarnje predviđanje pokreta) sa stvarnom senzoričkom povratnom vezom (Roy i Cullen, 2004: 2102). Tijekom aktivnih pokreta glave stimuliraju se proprioceptori vrata i vestibularni receptori. Kad postoji unutarnje predviđanje o pokretu, proprioceptivni podražaji u vratnim mišićima poklapaju se s motoričkim uputama poslanima eferentnim putem te tada dolazi do poništavanja (otkazivanja) signala neuronima u vestibularnoj jezgri. Sposobnost razlikovanja senzoričkih signala koji su posljedica naših vlastitih pokreta od onih koji proizlaze iz promjena u vanjskom svijetu bitna je za stabilnost percepcije i preciznu motoričku kontrolu (Roy i Cullen, 2004: 2102). Slična istraživanja navode i Angelaki i Cullen (2008), pokazujući kako su vestibularne informacije koje proizlaze iz samo-generiranih pokreta selektivno potisnute rano u senzornoj obradi radi stvaranja neuronske reprezentacije vanjskog svijeta.

Iako sam vestibularni sustav može biti dovoljan za izračun položaja i kretanja glave, nekoliko svakodnevnih funkcija, uključujući održavanje ravnoteže i percepcija samokretanja, zahtijevaju znanje o položaju tijela, orijentaciji i kretanju (Angelaki i Cullen, 2008: 139). Iz stanica s dlačicama vestibularnim živcem odašilju se odgovarajući signali koji obavješćuju središnji živčani sustav o promjenama brzine i smjera rotacije glave u trima različitim prostornim ravninama (Guyton i Hall, 2003: 643). Da bi se odredio odnos u prostoru, valja osim smjera izvora zvuka znati i svoj položaj za vrijeme gibanja, pa su te funkcije – slušna i vestibularna – usko povezane, a i neuralni su im mehanizmi slični (Padovan i sur. 1991: 61). Povezanost tih dvaju sustava na živčanoj razini osigurava i vršenje viših kognitivnih funkcija, što naglašavaju i Palla i Lenggenhager (2014). Vestibularna stimulacija uspostavlja poremećenu senzornu integraciju pa su vestibularne vježbe važne da bi se iz supkortikalnog podražaja utjecalo na više kortikalne funkcije (Pansini, 1989a: 109), uključujući razvoj govora i analizu slušno-govornih podataka.

4.2.2. Vestibulokohlearno slušanje

Slušanje kao osjetni modalitet postoji u živih bića prije pojave bilo kakva slušnog organa. Ono se u početku pojavilo kao nakupina osjetnih stanica na površini tijela, zatim kao udubljenje, a ono se na kraju zatvorilo u otolitičku cistu (Borković, 2004: 312). Ta je cista tijekom filogeneze zadržala svoju građu i funkciju, ali su se iz nje dalje razvijali preostali dijelovi koji danas imaju i slušnu funkciju. Osim percepcije zvuka, otolitička cista ima i sposobnost percepcije gravitacijskog polja, percepciju ubrzanja u pravcu i percepciju kutnog ubrzanja (Borković, 2004).

Kako je već spomenuto, vestibularno osjetilo pomaže slušanju i govoru na trima razinama. Prva, periferna, labirintarna razina percipira niske frekvencije, ritam i intonaciju, i čini dio vestibulokohlearnog slušanja. Druga, supkortikalna razina integrira spaciocepcijske poruke, usklađuje i usmjerava multisenzoričku rehabilitaciju. Treća je razina kortikalna, prostorno gramatička; a spaciocepcija i gramatika prostora najjasnije tumače odnose vestibularnog sustava i govora i razloge takve povezanosti (Pansini, 1995: 127–128).

Vestibularni aparat sudjeluje u slušanju i kod urednog sluha i u slučajevima oštećenja sluha. To je, dakako, moguće jer je vestibularno osjetilo anatomske vrlo blizu kohlearnom, a još k tome, vestibularni i slušni živac čine dvije grane jednog živca – vestibulokohlearnog – te se odvajaju tek kod ulaza u moždano deblo. Vestibularno osjetilo pomaže akustičkom osjetilu integriranjem podražaja s periferije te sudjeluje u slušanju ritma, intonacije i drugih vrednota govora, iako samostalno nema sposobnost prepoznavanja glasova (Borković, 2004: 312). Međutim, ukoliko je ono integrirano s najmanjim ostacima kohlearnog modaliteta, utoliko se znatno povećava razumljivost i razgovjetnost govora te se u takvim slučajevima teške naglušnosti i gluhoće vestibularno slušanje pokazalo i do tri puta poboljšano (*ibid.*). Razlog tomu jest to što se vestibularno osjetilo pojavilo prvo na filogenetskoj ljestvici, najstarije je i najotpornije, te je prvo primalo mehaničke/zvučne podražaje.

Kasnije je, razvitkom unutanjeg uha, tu funkciju preuzelo slušno osjetilo. Stoga je posve logično da vestibularno osjetilo pokušava nadomjestiti gubitak u uvjetima kad slušni organ nije u funkciji. Dodatni razlog tomu nalazi se i u njegovoj sposobnosti percepcije niskih frekvencija. Mnoga su istraživanja pokazala da se vestibularno i kohlearno slušanje poklapaju i do 1600 Hz. Frekvencije niže od 16 Hz percipiraju se samo vestibularno, a one iznad 1600 Hz samo kohlearno (Borković, 2004: 316). Niske frekvencije nose ritam i intonaciju, što je baza govora, stoga valja zaključiti kako one pacijentu neće omogućiti razumijevanje govora koje

nose visoke frekvencije, ali će mu znatno olakšati komunikaciju, a s vremenom omogućiti i razumijevanje.

U vestibulokohlearnom slušanju očituje se integracija unutar spaciocepcije. U bilo kojoj kombinaciji spaciocepcijskog slušanja, ne samo u slušanju preko uha, u somatosenzoričkom-vestibulokohlearnom slušanju (s vibratorom na ruci i slušalicom na uhu) također dolazi do integracije (Pansini i Šimunjak, 1992: 49). Glavna je osobina integracije da je ukupni učinak bolji ili jači od zbroja pojedinih percepcija, bila ona unutar jednog osjetila ili unutar spaciocepcije (*ibid.*).

4.2.3. Vestibulookularni refleksni luk

Refleks kojim se pomicanje glave nastoji kompenzirati rotacijom oka kako bi se slika na mrežnici održala stabilnom naziva se *vestibulookularnim refleksom* (Angelaki i Cullen, 2008: 127). Bumber i sur. (2004) definiraju vestibulookularni refleksni (VOR) luk kao neuralni mehanizam koji povezuje vestibularne senzoričke receptore s očnim mišićima što služi stabiliziranju smjera pogleda za vrijeme kretanja glave. Okretanjem glave dolazi do vestibularnoga podražaja i kompenzatornoga pokreta očiju na stranu suprotnu od strane okretanja glave. S obzirom na to da se oba oka istodobno pomiču takav se pokret obično naziva *konjugiranom devijacijom*. Vestibularni pokreti oka provode se u moždanom deblu i malom mozgu pomoću senzornih informacija pristiglih iz polukružnih kanala i otolitičkih organa koji signaliziraju inercijsko gibanje subjekta pa se govori o translacijskom vestibulookularnom refleksu (Angelaki i Hess, 2005: 968).

Najkraća refleksna veza sastoji se od tri neurona: 1) vestibularnoga dijela VIII. živca (od vestibularnih receptora do vestibularnih jezgara), 2) sekundarnoga neurona, koji ide od vestibularnih jezgara do okulomotornih jezgara i 3) motornoga neurona – III., IV. i VI. kranijalnog živca, te polazi od okulomotornih jezgara do mišića pokretača oka. Na taj najkraći i najjednostavniji put između osjetnih stanica labirinta i okulomotornih mišića oka utječu brojne druge veze s drugim osjetilima (Bumber i sur., 2004). Osim aferentnih senzoričkih niti koje dovode potencijale iz vestibularnih u okulomotorne jezgre preko moždanog debla, postoji i posredni multisinaptički put preko moždanog debla i malog mozga.

Ogromna važnost vestibulo-okularnoga refleksa nije samo u njegovoj fiziološkoj ulozi, nego i u tome što nam pruža ključ za dijagnostiku vestibularnoga osjetila. Naime ni utrikularno ni kupularno osjetilo ne možemo izravno ispitivati, kao npr. sluh ili vid. S obzirom na to da je kompenzatorni pokret oba oka odraz stanja vestibularnoga osjetila, promatranjem i mjerenjem

takvih pokreta oka moći ćemo neizravno dobiti informaciju i o stanju vestibularnoga sustava (Bumber i sur., 2004: 93–94). Vizualno-vestibularne i proprioceptivno-vestibularne interakcije javljaju se kroz središnje vestibularne putove i vrlo su važne za pogled i nadziranje držanja tijela (Angelaki i Cullen, 2008: 126).

4.3. Opip i propriocepcija

Osjetilima za opip (taktilnim osjetilima) pripadaju osjetila za dodir, tlak, vibraciju i škakljanje, a osjetilima za položaj pripadaju osjetila za statični položaj i za brzinu pokreta (Guyton i Hall, 2003: 540). Taktilni osjet (opip) daje podatke o neposrednoj okolini, a statični o položaju i promjenama gibanja u prostoru (Pansini, 1967: 106).

Taktilni osjet filogenetski spada u najstariji; izravno potječe od membrane jednostaničnih bića i površine svakog bića. Postajući ektodermom daje osnovu za živčani sustav, pa vanjski i unutarnji ektoderm živcima spajaju vanjske osjetne organe i unutrašnje živčane strukture za obradu podataka. „Evolucijsko jedinstvo ektoderma razlog je čvrste povezanosti unutar sustava za percepciju prostora“ (Pansini, 1992a: 43). Statični se organ javlja kod velikog broja beskralježnjaka, a kod kralježnjaka se dijeli u utrikulus i sakulus. Prvi put se kod riba iz sakulusa javlja produljak, koji se razvio u duktus kohlearis s Cortijevim organom. Ta grupa osjetila pokazuje takvu diferencijaciju radi što boljeg snalaženja u prostoru (Pansini, 1967: 106).

Mehanička osjetila čine grupu osjetila koja su se razvila iz mehanotaksije jednostaničnih bića (Pansini, 1967: 106). Mehanoreceptivna somatska osjetila podražuje mehaničko pomicanje nekog tkiva koje može biti podraženo izvana ili iznutra. Percepcija, tj. svjesno primanje, usvajanje i interpretacija podražaja izvana naziva se *eksterocepcija*, a percepcija podražaja iz vlastitog tijela *interocepcija* ili *propriocepcija* (Mildner, 2003: 27). Shodno tomu, somatski osjeti često se svrstavaju u dvije skupine: *eksteroreceptivni osjeti*, koji dolaze s tjelesne površine, i *proprioceptivni osjeti*, koji se odnose na fizičko stanje tijela (Guyton i Hall, 2003: 540).

Samogenerirani pokreti percipiraju se drugačije od identičnog osjetilnog ulaza generiranog izvana, odnosno nekim vanjskim faktorom. Primjer takve diferencijalne percepcije je nemogućnost da ljudi sami sebe škakljaju (Blakemore i sur., 1999), jer se radi o predviđenoj osjetilnoj povratnoj informaciji na koju je mozak unaprijed pripravan.

Među proprioceptivne osjete pripadaju osjeti položaja, tetivni i mišićni osjeti, osjeti tlaka na tabane, pa čak i osjet ravnoteže, koji općenito smatramo specijalnim, a ne somatskim osjetom. Guyton i Hall (2003: 540) napominju kako valja razlikovati somatska osjetila od specijalnih: *somatska osjetila* su živčani mehanizmi koji prikupljaju osjetne informacije iz tijela, a *specijalna osjetila* je specifičan naziv za vid, sluh, miris, okus, ravnotežu.

4.3.1. Osjet dodira

Osjet dodira općenito nastaje podraživanjem receptora za opip u koži ili u tkivima neposredno ispod kože. (Guyton i Hall, 2003: 540). Koža je organ koji pokriva i štiti ljudsko tijelo. Putem osjetnih tjelešaca i živčanih završetaka prima i provodi različite podražaje. Put za dodir povezan je s putem za propriocepciju. Iako ima više različitih vrsta receptora za opip, Guyton i Hall (2013: 540–541) navode šest osnovnih vrsta:

- 1) *slobodni živčani završeci* – nalaze se posvuda u koži i u mnogim drugim tkivima, a mogu zamjećivati dodir i tlak;
- 2) *Meissnerovo tjelešce* – izduženi živčani završetak koji se nalazi u čahuri, a pobuđuje debelo mijelinizirano osjetno živčano vlakno; to je receptor za dodir osobite osjetljivosti; mnoga se tjelešaca nalaze u neobraslim dijelovima kože, a posebice su brojni u vršcima prstiju, u usnama, na tabanima; nakon podraživanja Meissnerova se tjelešca prilagode u djeliću sekunde, što znači da su osobito osjetljiva za zamjećivanje gibanja predmeta po površini kože te za vibracije niskih frekvencija;
- 3) *opipni receptori s proširenim vrškom* – Merkelove ploče jedna su vrsta takvih receptora; nalaze se i u obraslim i u neobraslim dijelovima kože (npr. vršci prstiju, zajedno s Meissnerovim tjelešcima); u početku prenose jak signal koji se djelomično prilagođuje, a zatim trajan slabiji signal koji se sporo prilagođuje; odgovorni su za slanje postojanih signala koji omogućuju zamjećivanje trajnoga dodira nekog predmeta na koži; ti receptori (kao i Meissnerova tjelešca) imaju izvanredno važnu ulogu u lokalizaciji osjeta dodira na specifičnim površinskim područjima tijela te u prepoznavanju građe onoga što se dodiruje;
- 4) *završni organ dlake* – svaka je dlaka, zajedno sa živčanim vlaknom oko njezina korijena, također receptor za dodir; taj se receptor brzo prilagođuje te (kao i Meissnerova tjelešca) uglavnom zamjećuje pomicanje predmeta po tjelesnoj površini ili njihov početni dodir s tijelom;

- 5) *Ruffinijevi završni organi* – učahureni završeci koji se višestruko granaju, a nalaze se u dubljim slojevima kože te u još dubljim unutarnjim tkivima; vrlo se sporo prilagođuju pa su stoga važni za obavješćivanje o trajnoj deformaciji kože i dubljih tkiva (npr. signali o jakom i trajnom dodiru te o tlaku); tih receptora ima i u zglobnim čahurama, a pridonose obavješćivanju o stupnju savijenosti zglobova;
- 6) *Pacinijeva tjelešca* – nalaze se neposredno ispod kože, ali i duboko u tkivima fascija; adaptiraju se za nekoliko stotinki sekunde, ti se receptori mogu podražiti samo vrlo brzim pomicanjem tkiva, zato su oni osobito važni za zamjećivanje vibracije tkiva ili drugih brzih promjena mehaničkoga stanja tkiva; mogu zamijetiti vibracijske signale frekvencije 30 – 800 Hz te izuzetno brzo reagiraju na male i brze deformacije tkiva.

Pansini (1976: 4) navodi sličnu, ali kraću i manje detaljnu podjelu taktilnih mehanoreceptora:

- 1) slobodni živčani završeci
- 2) razgranati tip završetaka u koje spadaju Ruffinijevi završeci, Merkelove ploče, završeci poput bršljanja i druge inačice
- 3) učahureni završeci: Meissnerova tjelešca, Krausova tjelešca, Pacinijeva tjelešca
- 4) košarice oko korijena dlake.

Osjet vibracije stvaraju osjetni signali koji se brzo ponavljaju, ali se pritom podražuju neke vrste receptora za dodir i tlak, posebice receptori koji se brzo prilagođuju. U zamjećivanju vibracije sudjeluju svi opipni receptori, ali pojedini receptori zamjećuju različite frekvencije vibracije. Vibracije niskih frekvencija – od 2 do 80 Hz – podražuju druge opipne receptore, posebice Meissnerova tjelešca koja se prilagođuju sporije od Pacinijevih tjelešca (Guyton i Hall, 2003: 542).

4.3.2. Osjeti položaja

Propriocepcija daje informacije o položaju tijela, zglobova, mišića i unutarnjih organa (Pansini, 1981). Proprioceptivnim osjetilom, odnosno mehanoreceptorima koji se nalaze u koži, mišićima i zglobovima i koji reagiraju na pritisak ili rastezanje okolnih tkiva detektira se vibracija. „Ti receptori, inače, prvenstveno služe za davanje obavijesti o unutrašnjem prostoru bića, ili, pojednostavljeno, o položaju i kretanjama određenih dijelova tijela“ (Aras, 2018: 4). To znači da, dajući podatke o unutrašnjem prostoru, propriocepcija posredno informira i o vanjskom prostoru (Pansini, 1976: 5).

Proprioceptivne osjete ili osjete položaja možemo podijeliti u dvije podvrste: 1) *osjet statičnog položaja* – svjesno raspoznavanje međusobnog odnosa položaja pojedinih dijelova tijela i 2) *osjet brzine pokreta* – koji se naziva još *kinestezija* ili *dinamična propriocepcija* (Guyton i Hall, 2003: 548).

Da bismo znali u kojem je položaju naše tijelo, moramo znati stupanj savijenosti svih zglobova u svim prostornim ravninama, kao i brzinu promjene savijenosti. To vrijedi i za statični i za dinamični položaj. Stoga u zamjećivanju zglobne savijenosti sudjeluje mnogo različitih vrsta receptora, a svi oni zajedno služe doživljavanju osjeta položaja (Guyton i Hall, 2003: 549). Takvim receptorima pripadaju opipni receptori u koži (npr. slobodni živčani završeci, Merkelove ploče, Meissnerova tjelešca, Pacinijeva tjelešca) i duboki receptori blizu zglobova (npr. Ruffinijevi završni organi, Pacinijeva tjelešca i receptori u mišićnim tetivama). Drži se da položaj prstiju dobrim dijelom zamjećuje pomoću kožnih receptora, kojih u prstima ima vrlo mnogo, suprotno tome, za većinu velikih zglobova važniji su duboki receptori (*ibid.*).

Mišićna vretena pripadaju najvažnijim receptorima za zamjećivanje zglobne savijenosti unutar uobičajenoga raspona pokreta. Kada se mijenja stupanj savijenosti zgloba, neki se mišići istežu, a drugi opuštaju. Mišićna vretena šalju informaciju o istegnutosti mišića u kraljezničku moždinu i u viša područja sustava dorzalne kolumne. Ondje se informacija obrađuje, te se na osnovi dobivenog proračuna interpretiraju složena zbivanja pri savijanju zglobova (Guyton i Hall, 2003: 549). Osjetni završeci koji pritom sudjeluju su Pacinijeva tjelešca, Ruffinijevi završeci i receptori u mišićnim tetivama koji nalikuju Golgijevim tetivnim organima.

Propriocepcija se obilato upotrebljava u rehabilitaciji kao osjet koji uz sluh kontrolira fonaciju, ali se rabi i za bolju percepciju različitih kvaliteta sadržanih u govornoj poruci (visina, napetost, ritam, intonacija) (Davies i Jahn, 2004, prema Aras, 2018: 5). Tijelo pamti proprioceptivni osjet, napetost vezanu uz određenu visinu tona ili intenzitet (Aras, 2018: 5).

4.3.3. Somatosenzorički put

Propriocepcija zajedno s osjetom dodira čini somatski senzorički sustav ili, kraće, somatosenzorički put. U verbotonalnoj se praksi popularno naziva i „put preko tijela“ (Pansini, 1992a: 43). Od tjelesnih je receptora do leđne moždine put za taktilni i proprioceptivni osjet jednak, a onda se kod leđne moždine dijele – taktilni ide u talamus, a proprioceptivni u mali mozak. Taj dio puta nosi nesvjesne signale dubokog osjeta (Borković, 2004). Taktilni put ulazi u sve segmente leđne moždine, dolazi u retikularnu supstanciju produžene moždine, ponsa i

mezencefalona, ulazi u mali mozak gdje se sastaje s informacijama iz slušnog i vestibularnog osjetila, zatim u talamus i u somestetička područja kore velikog mozga (Pansini, 1976: 4).

Dakle budući da su taktilni i proprioceptivni osjet srodni na nekoliko razina (receptornoj, na razini živčanih putova, na razini moždanog debla) somatosenzorički put obuhvaća oba osjeta, koji se zatim s ostalim spacioceptivnim signalima sreću najviše u talamusu, a zatim i u kori mozga. Nakon ulaska somatosenzoričkog puta u talamus (koji je glavna jezgra opipa – Pansini, 1992a: 43), od velike je važnosti taktilni dio puta koji se preko metatalumusa susreće s vidnim i slušnim putem (Pansini, 1981). Somatosenzoričke informacije iz talamusa ulaze u područja kore mozga, ali već uvelike promijenjene i strukturirane pod djelovanjem ostalih osjeta za percepciju prostora. U malom se mozgu taktilni i proprioceptivni sastaju s vestibularnim i slušnim impulsima. Do usklađivanja dolazi u retikularnoj formaciji moždanog debla (Borković, 2004).

U prednjem dijelu parijetalnog režnja, koji prima i interpretira somatosenzoričke signale, postoje dva odvojena osjetna područja: somatosenzorička područja I i II. U svakome od njih postoji jasno izražen prostorni raspored pojedinih dijelova tijela. Ipak, somatosenzoričko područje I puno je važnije i veće od somatosenzoričkog područja II pa se u svakodnevnoj uporabi pod pojmom „somatosenzorička kora“ gotovo uvijek podrazumijeva somatosenzoričko područje I, koje se nalazi u postcentralnoj vijuzi moždane kore, neposredno iza središnje brazde (u Brodmannovim područjima 3, 1 i 2) (Guyton i Hall, 2003: 544).

Dijelovi kore ispred središnje brazde, koji tvore stražnju polovicu frontalnog režnja, gotovo u cijelosti nadziru mišiće i pokrete tijela. Velikim dijelom toga motoričkog nadzora upravljaju signali iz osjetnih područja kore, koji neprekidno obavješćuju motoričku koru o položaju i pokretima pojedinih dijelova tijela (Guyton i Hall, 2003: 544). To je moguće upravo zato što u somatosenzoričkom području I postoji visok stupanj lokalizacije različitih dijelova tijela.

Valja istaknuti da svaka strana kore prima osjetne informacije isključivo iz suprotne strane tijela (Guyton i Hall, 2003: 545). Neki su dijelovi tijela zastupljeni u velikim područjima somatske kore (područje za usne je najveće, a zatim slijede područja za lice i za palac), a cijeli trup i donji dio tijela zastupljeni su u razmjerno malim područjima.

Tjemeni režanj primarno se bavi obradom informacija iz kože (dodir), mišića i zglobova u tijelu i kombiniranjem vida, sluha i ravnoteže, kako bi se omogućilo bogato „multimedijalno“ razumijevanje tjelesnog bića i svijeta oko njega (Ramachandran, 2013: 38). Stalno aktivan

sustav nadzora nad pokretima čine motorička kora velikog mozga i mali mozak (Thompson, 1993, prema Mildner, 2003: 17). Stoga će u sljedećem poglavlju biti govora upravo o toj važnoj mozgovnoj strukturi koja kontrolira finu koordinaciju pokreta, a uključena je i u održavanju ravnoteže, hod i držanje tijela. Samim time neminovno je važna u spaciocepciji.

4.3.4. Mali mozak i retikularna formacija

Uz moždana kortikalna područja koja nadziru mišićnu aktivnost još su dvije moždane strukture bitne za odvijanje urednih motoričkih funkcija, iako nijedna od tih struktura ne može sama započeti mišićnu funkciju, već uvijek sudjeluju u sklopu drugih sustava motoričke kontrole (Guyton i Hall, 2003: 647). Te su strukture mali mozak i bazalni gangliji.

Bazalni gangliji su neobično oblikovana nakupina struktura koje se nalaze uz talamus oko vrha moždanog debla (Ramachandran, 2013: 37). Pomažu u planiranju složenih obrazaca mišićnih pokreta i u nadzoru nad njima tako što kontroliraju relativnu jakost pojedinačnih pokreta, smjer pokreta i slijed višestrukih uzastopnih i istodobnih pokreta radi postizanja specifičnih i složenih motoričkih radnji (Guyton i Hall, 2003: 647). Ramachandran (2013: 37) navodi primjer takve kontrole automatskih pokreta povezanih sa složenim namjernim akcijama: namještanje ramena prilikom bacanja koplja ili koordiniranje snage i napetosti brojnih mišića tijela za vrijeme hodanja.

Na svom najgornjem dijelu kralježnička moždina izlazi iz svog koštanog omotača koji čine kralješci, ulazi u lubanju i postaje deblja i gomoljasta. To zadebljanje zove se moždano deblo i podijeljeno je u tri dijela čiji su nazivi: produljena moždina, most i srednji mozak (Ramachandran, 2013: 36). Na krovu mosta smjestio se mali mozak.

Mali mozak (*cerebellum*), jedna od filogenetski najstarijih mozgovnih struktura (razvila se zajedno s vestibularnim sustavom u nadzoru ravnoteže), nalazi se na stražnjoj lubanjskoj jami, a čine ga kora, supkortikalna bijela tvar i supkortikalne jezgre (Mildner, 2003: 17). Unatoč relativno maloj veličini u odnosu prema ukupnom volumenu mozga (prosječne težine od 145 grama zaprima 10% od ukupne mase mozga), mali mozak sadrži više od 50% svih moždanih neurona (Judaš i Kostović, 1997). Ima naboranu površinu s pukotinama i vijugama mnogo jače naboranima nego veliki mozak, dvije polutke i medijalno područje (*vermis*) (Mildner, 2003: 17). Mali mozak je glavno stjecište proprioceptivnog osjeta jer prima živčane niti iz svih proprioceptivnih receptora, kao i složen skup osjetnih informacija iz većine drugih modaliteta.

Na taj način usklađuje i obrađuje proprioceptivne i vestibularne podatke, akustičke i taktilne podatke, informacije vezane za motoričko planiranje, mišiće, zglobove, kožu i oči (Pansini, 1976: 6; Mildner, 2003: 17).

Iz slušnog puta u mali mozak idu signali na razne načine: neposredno iz kohlearnih jezgara, iz donjih kolikula, iz retikularne supstancije moždanog debla te iz slušnog područja moždane kore, a svi ti putovi aktiviraju vermis (središnji dio) malog mozga (Pansini, 1976: 10). Mali mozak prima niti vestibularnog živca, a iz njega polaze živčane niti u retikularnu supstanciju u koju su ušle i niti iz vestibularnih jezgara te proprioceptivnih i taktilnih centralnih putova (Pansini, 1976: 6).

Glavna uloga malog mozga je u određivanju vremenskog slijeda motoričkih aktivnosti te u brzom i glatkom nadovezivanju jednog pokreta na drugi (Guyton i Hall, 2003: 647). Na osnovi stalnih osjetnih informacija koje pritječu s periferije, mali mozak koordinira i izgladuje mišićnu aktivnost, regulira brzinu, opseg, silu i smjer pokreta (Webster, 1995; prema Mildner, 2003: 17).

Mali mozak je važno mjesto integracije i obrade ulaznih informacija prije odašiljanja izlaznog signala u druga moždana područja (Mildner, 2003: 17). Ta nadzorna i ispravljačka funkcija moguća je jer mali mozak funkcionira kao poluga povratne sprege ili *servo-kontrolna petlja*, kako je naziva Ramachandran (2013: 37). Njezino funkcioniranje opisuje ovako:

„Kada motorička kora (viša moždana regija koja šalje zapovijedi za voljne pokrete) pošalje signal mišićima preko kralježničke moždine, kopija tog signala biva poslana u mali mozak. Mali mozak prima i osjetne povratne informacije iz receptora u mišićima i zglobovima cijelog tijela. Na taj je način mali mozak u stanju otkriti svako neslaganje do kojeg može doći između nakane i stvarne akcije te uključiti prikladne korekcije u odlazeći motorički signal.“

Drugim riječima, mali mozak neprekidno dobiva dvojake informacije (koje mu omogućuju da zajedno sa sustavom za ravnotežu točno i precizno koordinira pokrete glave i položaj tijela sa svim drugim aktivnostima tijela): 1) iz motoričkih kontrolnih područja mozga prima informacije o željenom slijedu mišićnih kontrakcija i 2) iz perifernih dijelova tijela neprekidno dobiva povratne osjetne informacije. Zatim mali mozak uspoređuje stvarne pokrete tijela s pokretima što ih namjerava izvesti motorički sustav te, ako se stvarno stanje ne podudara s namjeravanim, odmah se motoričkom sustavu odašilju odgovarajući ispravljački signali koji će povećati ili smanjiti stupanj aktivacije specifičnih mišića (Guyton i Hall, 2003: 647). Osim toga, mali mozak pomaže moždanoj kori u planiranju idućeg uzastopnog pokreta djelić sekunde

unaprijed, dok se pokret koji je u tijeku još izvodi, te tako osigurava glatko nadovezivanje jednog pokreta na drugi (Guyton i Hall, 2003: 647).

Oštećenje malog mozga dovodi do oscilacija u servo-kontrolnoj petlji (Ramachandran, 2013: 37). Kako je glavna uloga malog mozga vršiti temporalne izračune (koji se mogu koristiti u različitim perceptivnim i motoričkim funkcijama uključujući i govorno-jezične) (Mildner, 2003: 17), posljedice ozljede malog mozga jesu nespretnost pokreta, posebice svrhovitih pokreta ruku, poremećaj ravnoteže, smanjeni tonus mišića, nerazgovjetan govor, neprecizni pokreti očiju, poremećaji planiranja i vremenske organizacije aktivnosti (Kalat, 1995; Drubach, 2000, prema Mildner, 2003: 17). Mali mozak prima informacije o planiranoj (predviđenoj) radnji i stvarnu senzornu informaciju, uspoređujući ih obje i zatim šalje u talamus i bazalne ganglije (Casseb i sur., 2019).

Retikularna formacija je dio moždanog debla, tj. „heterogeni skup funkcionalno vrlo raznolikih struktura“ (Judaš i Kostović, 1997: 243) gdje prolaze gotovo svi osjetni i motorički putovi, a povezana je s drugim jezgrama moždanog debla, malim mozgom, međumozgom, velikim mozgom (Mildner, 2003: 17). U retikularnu formaciju/supstanciju ulaze i niti svih ostalih mehanoreceptornih osjetila za percepciju prostora pa se tu, kao u prvoj i glavnoj zajedničkoj spacioceptivnoj neuralnoj strukturi obrađuju, usklađuju i oblikuju podaci o dinamičkom prostoru (Pansini, 1976: 6). Upravo zbog tog ispreplitanja živčanih vlakana i staničnih tijela poput mreže, što je vidljivo i pod mikroskopom, ova struktura naziva se još i *mrežasta formacija*. Prva četvrtina retikularne supstancije pretežno služi usklađivanju optičke orijentacije u prostoru, a treća četvrtina usklađivanju slušne i vestibularne orijentacije u prostoru (Krmpotić-Nemanić, 1971). Između ta dva dijela dolazi do daljnjeg stupnja otolitičko-slušno-vestibularnog usklađivanja, a vrlo brojnim prenošenjem, izborom i integracijom stvaraju se prostorne strukture koje su ideje percipiranog prostora (Pansini, 1976: 6). Vestibularno osjetilo najjače je povezano s retikularnom supstancijom jer je lateralna vestibularna jezgra i nastala iz stanica retikularne supstancije i s njom dalje ostala vrlo usko povezana mnogim živčanim nitima (Pansini, 1976: 7).

Vestibularne jezgre, mali mozak i retikularna formacija vrlo su usko povezani. Upravo je zbog toga to mjesto ono u kojem čvrsto surađuju somatosenzorički i vestibularni osjet. Somatosenzorički put zatim ulazi u talamus koji se smatra glavnim ganglijem taktilnog osjeta, a preko talamusa se iznova susreće s vidnim i slušnim putem (Borković, 2004). Zaključuje se kako retikularna formacija ima ulogu u kontroli stereotipnih pokreta tijela, održavanju

ravnoteže, kontroli budnosti i filtriranju informacija koje dolaze s periferije (Guyton i Hall, 2003).

4.4. Osjet vida i vidno osjetilo

Kretanje tijela je čovjekova veza sa svijetom. To kretanje zbiva se na različitim razinama, od makrorazine čitava tijela do mikrorazine (npr. pokreti očiju), a to mnogorazinsko kretanje uzrokuje stupnjeviti doživljaj svijeta (Damjanov, 1991: 50). Održavanje ravnoteže tijela i položaja očiju (stabiliziranje slike na mrežnici) i kretanje ovisi o interakciji signala iz gotovo svakog senzoričkog sustava – vestibularnoga, vidnoga, slušnoga, taktilnoga, proprioceptivnoga. Posljedica je velika složenost neuralnih putova između vestibularnoga i drugih senzoričkih sustava (Bumber i sur., 2004: 93). Jedna od uloga vestibularnog osjetila je u održavanju očiju u položaju koji omogućuje jasan vid pri različitim pokretima glave. Iako već i jednostanične životinje i biljke imaju svojstvo fotosenzitivnosti (najjednostavniji oblik osjetljivosti na svjetlost), samo složeniji organizmi sposobni su osjetilom vida zapaziti brže i prostorno dobro ograničene promjene intenziteta svjetla (Judaš i Kostović, 1997: 404).

Preračunavanje udaljenosti i gibanja u prostoru prati se i mjeri pretežno proprioceptivnim osjetom koji se nalazi u vanjskim, pa i unutrašnjim očnim mišićima. To se vrši pokretima očiju zbog praćenja pomičnih predmeta, zatim kod konvergencije, akomodacije. Ako se očima prati predmet, a kod toga okreće vrat ili se čak promatrač kreće u prostoru, proprioceptivni se podaci iz očnih mišića, vratnih mišića i mišića tijela sastaju i preračunavaju, a to se naziva *biokompjuterizacijom prostora* (Pansini, 1976: 10).

Vidni osjetilni organ je oko, a sastoji se od očne jabučice (*bulbus oculi*), vidnog živca (*nervis opticus*), vanjskih mišića koji pokreću očnu jabučicu, zaštitnih vjeđa (*palpebrae*) i spojnice (*conjunctiva*) te suznog aparata (Judaš i Kostović, 1997). Mrežnica je dio oka osjetljiv na svjetlo, a sadrži elektromagnetske receptore: štapiće i čunjiće. Čunjići zapažaju boje, a štapići su uglavnom važni za gledanje u mraku (Guyton i Hall, 2003: 578). I štapići i čunjići sadrže kemijske tvari koje se razgrađuju pri izlaganju svjetlu i u tom procesu se podražuju živčana vlakna što izlaze iz oka. Pansini (1976: 10) definira oko kao fotoreceptor s osjetom za skotopsko gledanje (štapići) i za fotopsko gledanje (čunjići). Kad su štapići i čunjići podraženi, signali se prenose kroz slijed neurona u samoj mrežnici i, konačno, vlaknima vidnog živca u koru velikog mozga (Guyton i Hall, 2003: 578).

Središnji dio mrežnice naziva se *foveja*, a zauzima površinu malo veću od 1 mm² i osobito je sposobna za oštar i precizan vid (Guyton i Hall, 2003: 578). U tom području nalaze se gotovo samo čunjići, koji su tanji u usporedbi s mnogo debljim čunjićima smještenima u perifernom dijelovima mrežnice, što im pomaže u zamjećivanju detalja u vidnom prizoru. Također, u tom su dijelu krvne žile, ganglijske stanice, unutarnji sloj jezgara i mrežasti slojevi razmaknuti u stranu tako da ne naliježu nad čunjiće. To omogućuje svjetlosti da neometano stigne do čunjića (Guyton i Hall, 2003: 578). Čunjići su specijalizirani za gledanje po danu, tj. za fotopni vid (u uvjetima dobre rasvjete), a štapići su specijalizirani za gledanje po noći ili u sumrak, tj. za skotopni vid (u uvjetima slabe rasvjete, sumraka i mraka). Razlog takve funkcionalne podjele je u tome što čunjići i štapići imaju i različite vidne pigmente i različita fiziološka svojstva, ali i različite sinaptičke veze s ostalim neuronima vidnog sustava (Judaš i Kostović, 1997: 419).

Glavni funkcionalni dijelovi štapića su: vanjski odsječak (segment), unutarnji odsječak, jezgra i sinaptičko tjelešce. U vanjskom odsječku nalazi se fotokemijska tvar osjetljiva na svjetlost. U štapićima je to *rodopsin* ili *vidni purpur*, a u čunjićima jedna od tri fotokemijske „tvari za boje“, koje se obično nazivaju *pigmenti za boje* ili *pigmenti čunjića* (Guyton i Hall, 2003: 578).

Prilikom pobuđivanja elektroleptora na membrani mrežnice dolazi do procesa polarizacije obrnutog od onog koji nastaje na membranama gotovo svih ostalih osjetila u tijelu. Kad se štapići izlože svjetlu, nastali receptorski potencijal je različit od receptorskih potencijala u gotovo svim drugim osjetnim receptorima – hiperpolarizacijski je, a ne depolarizacijski (Guyton i Hall, 2003: 581). Naime, kad se pobude štapići, povećava se negativnost membranskog potencijala, što označava stanje hiperpolarizacije (negativnost unutar membrane štapića je veća nego normalno). To je upravo suprotno od smanjenja negativnosti (proces depolarizacije), koje nastaje gotovo u svim drugim osjetnim receptorima.

U svakom čunjiću postoji jedna od triju različitih vrsta fotokemijskih tvari, što omogućuje čunjićima selektivnu osjetljivost na tri različite boje: modru, zelenu i crvenu. Te se fotokemijske tvari zovu *pigment osjetljiv na modro*, *pigment osjetljiv na zeleno* i *pigment osjetljiv na crveno* (Guyton i Hall, 2003: 583). Mehanizmi pomoću kojih mrežnica raspoznaje različite nijanse boja u vidnome spektru temelje se na dobro poznatom opažanju (na temelju testova za raspoznavanje boja) da ljudsko oko može zamijetiti gotovo sve nijanse boja kada se crveno, zeleno i modro monokromatsko svjetlo prikladno pomiješaju u različitim omjerima, a kada se približno jednako podraže crveni, zeleni i modri čunjići, nastaje osjet bijeloga.

Spektralno čiste, monokromatske boje uglavnom možemo zapažati jedino u laboratorijskim uvjetima, dok su u stvarnom svijetu većina boja tzv. sintetske smjese nekoliko različitih valnih duljina (Judaš i Kostović, 1997: 456).

4.4.1. Živčano ustrojstvo mrežnice

Postoje različite vrste živčanih stanica i veza u mrežnici: 1. *fotoreceptori*: štapići i čunjići, koji prenose signale do vanjskog mrežičastog sloja, gdje se sinaptički povezuju s bipolarnim i horizontalnim stanicama; 2. *horizontalne stanice*, koje prenose signale poprečno (horizontalno) u vanjskom mrežastom sloju, od štapića i čunjića do bipolarnih stanica; 3. *bipolarne stanice*, koje prenose signale okomito od štapića, čunjića i horizontalnih stanica do unutarnjeg mrežastog sloja, gdje se sinaptički povezuju s ganglijskim i amakrinim stanicama; 4. *amakrine stanice*, koje prenose signale u dva smjera, ili izravno od bipolarnih do ganglijskih, ili poprečno u unutarnjem mrežastom sloju između aksona bipolarnih stanica i dendrita ganglijskih stanica i/ili drugih amakrinih stanica; 5. *ganglijske stanice*, koje prenose izlazne signale iz mrežnice kroz vidni živac u mozak (Guyton i Hall, 2003: 586).

4.4.2. Vidni put

Vidni put polazi od osjetnih stanica mrežnice pa preko bipolarnih stanica i preko ganglijskih stanica mrežnice u očni živac (Pansini, 1976: 11). Jedine živčane stanice u mrežnici koje uvijek prenose vidne signale pomoću akcijskih potencijala jesu ganglijske stanice; one šalju svoje signale sve do mozga (Guyton i Hall, 2003: 586). Iz očnih mišića i njihovih tetiva polaze proprioceptivni signali petim moždanim živcem, pa iz njegove jezgre ulaze signali u okulomotoričke jezgre, kao najkraća proprioceptivna povratna sveza (Pansini, 1976: 11). Svi ostali neuroni u mrežnici provode svoje vidne signale elektrotoničnim provođenjem, a ne akcijskim potencijalima. Elektrotonično provođenje znači izravan tok električne struje u neuronskoj citoplazmi od mjesta pobuđivanja sve do sinaptičkog izlaza (Guyton i Hall, 2003: 587). Iz jezgre petog živca signali polaze i u mali mozak, u koji dopijevaju obavijesti iz propriocepcije tijela i vestibularnog osjetila u prvom redu, a zatim i od opisanih receptora (Pansini, 1976: 11).

Pošto napuste mrežnicu, živčani impulsi putuju prema natrag kroz vidne živce. Živčana vlakna jednog i drugog oka sastaju se u *vidnoj hijazmi*, gdje se dio niti križa, a odatle se pridružuju vlaknima iz temporalnoga dijela mrežnice drugog oka i zajedno s njima tvore vidne (optičke) traktove (*tractus opticus*) (Guyton i Hall, 2003: 591; Pansini, 1976: 11). Vlakna iz svakoga vidnog trakta prekopčavaju se u *dorzalnoj lateralnoj genikulatnoj jezgri*, odakle

genikulokalkarina vlakna prolaze kroz *vidnu radijaciju* (ili *genikulokalkarini trakt*) do primarne vidne kore u području okcipitalnog režnja. Sva vlakna vidnog živca vidnog sustava završavaju u dorzalnoj lateralnoj genikulatnoj jezgri, smještenoj na stražnjem dijelu talamusa, koja se zove *lateralno genikulatno tijelo* (Judaš i Kostović, 1997: 428). Iz tih supkortikalnih vidnih centara niti odlaze u vidnu koru velikog mozga (Pansini, 1976: 11).

Vidna kora smještena je primarno u okcipitalnim režnjevima te se dijeli na primarnu vidnu koru i sekundarna vidna područja. Primarna vidna kora smještena je u području *fisure kalkarine* i proteže se do okcipitalnog pola na medijalnoj strani obiju okcipitalnih kora prema naprijed (Guyton i Hall, 2003: 592). U tom području završavaju izravni vidni signali iz očiju. Gornji dio mrežnice zastupljen je u gornjem području vidne kore, a donji u donjem području (Judaš i Kostović, 1997). S obzirom na to da je foveja (*fovea centralis*) odgovorna za najviši stupanj oštine vida, zastupljenost foveje u primarnoj vidnoj moždanoj kori (u vrhu zatiljnog režnja) nekoliko je stotina puta veća od zastupljenosti najperifernijih dijelova mrežnice.

Primarna vidna kora podudara se s Brodmannovim kortikalnim područjem 17, a naziva se još i *vidno područje I* ili *strijatni korteks*. Sekundarna vidna područja kore, nazvana i *vidna asocijacijska područja*, smještena su lateralno, ispred, iznad i ispod primarne vidne kore (Guyton i Hall, 2003: 593). U talamusu i metatalamusu susreću se slušni i vidni signali, kao i ostali spacioceptivni signal, a ti se signali još jednom usklađuju kad stignu u koru mozga (Pansini, 1976: 11).

Da bi se potpuno iskoristile mogućnosti vida, gotovo jednako je važan moždani kontrolni sustav koji usmjeruje oči prema predmetu koji se gleda, kao i sustav koji interpretira vidne signale što dolaze iz očiju. Očne pokrete nadziru tri para mišića: 1) medijalni i lateralni rektusi, 2) donji i gornji rektusi i 3) donji i gornji oblikvusi (Guyton i Hall, 2003: 596). Kontrakcija medijalnih i lateralnih rektusa pokreće oči s jedne na drugu stranu. Kontrakcija gornjih i donjih rektusa pokreće oči prema gore i prema dolje, a oblikvusi djeluju uglavnom tako da rotiraju očne jabučice, čime se vidno polje zadržava u uspravnom položaju.

Kada se vidni prostor neprekidno pomiče pred očima, npr. kao kad vozimo u automobilu ili se okrećemo u krug, oči fiksiraju istaknute pojedinosti u vidnom polju jednu za drugom, skačući s jedne na drugu učestalosti od 2 do 3 skoka u sekundi. Ti se skokovi, koji služe kako bi se pogled prebacio iz točke gledanja u neku drugu točku, nazivaju *sakade* (očni trzaji), a pokreti se nazivaju *optikokinetički pokreti*. Pritom mozak potiskuje vidnu sliku za vrijeme trzaja pa smo potpuno nesvjesni pokreta očiju s točke na točku (Guyton i Hall, 2003: 597). Sakade su

uglavnom voljnog karaktera, ali se javljaju i kod oštećenog VOR luka kao pokušaj kompenzacije i postavljanja odraza cilja na mrežnicu oka (Maslovara i Butković Soldo, 2011: 29). Osim tih oštarih, naglih pokreta (sakade), razlikuju se još *tremori* – brzi, mali pokreti, *driftovi* – polagani, meki pokreti (Falk i sur., 1986: 192, prema Damjanov, 1991: 224). Drugi autori navode četiri sustava pokreta očiju: (već spomenuti) 1. sustav sakada; 2. sustav VOR luka (uključuje se pri pokretima glave ili tijela osobe koja promatra); 3. sustav za pokrete slijeđenja (uključuje se pri kretanju objekta (cilja) promatranja); 4. sustav vergencije (uključuje se kad se objekt promatranja približava) (Maslovara i Butković Soldo, 2011: 29). Promjena, odnosno kretanje očiju u temelju su viđenja.

Oči mogu ostati fiksirane i na predmetu koji se kreće, što se naziva *pokretima praćenja*. Visoko razvijen kortikalni mehanizam automatski uočava smjer kretanja predmeta, te zatim vrlo brzo pokreće oči u sličnom smjeru. Stoga se može govoriti o spaciocepcijskim očnim svezama. Vidni signal putuje opisanim svjesnim putem do kore mozga i na tom se putu sreće sa signalima drugih spaciocepcijskih osjetila, najviše s obavijestima koje dolaze iz talamusa preko korpusa genikulatuma lateralisa (Pansini, 1976: 11).

Još jedan važan mehanizam koji treba spomenuti je mehanizam procjene udaljenosti predmeta koji nisu dalji od oko 60 m, a naziva se *stereopsija*:

„Neuronski stanični mehanizam stereopsije temelji se na činjenici da neka vlakna vidnog puta od mrežnice do vidne kore odstupaju 1 do 2 stupnja od središnjeg dijela puta. Prema tome neki aksoni vidnog puta iz dva oka točno će se podudarati za predmete udaljene 2 m, dok će se drugi podudarati za predmete udaljene 25 m. Dakle, udaljenost se određuje po tome koji su skupovi aksona u vidnom putu pobuđeni nepodudaranjem ili podudaranjem. Ta se pojava naziva *zamjećivanje dubine*, što je drugo ime za stereopsiju“ (Guyton i Hall, 2003: 598).

Različite točke u mrežnici zastupljene su topografski u gornjim kolikulima na isti način kao i u vidnoj kori, iako manje precizno (Guyton i Hall, 2003: 598). Kolikuli mogu zamijetiti glavni smjer bljeska svjetlosti u perifernom mrežničnom polju i odaslati sekundarne signale u okolumotoričke jezgre za okretanje očiju. Da bi pomogli to usmjereno pokretanje očiju, gornji kolikuli imaju topografske mape somatskih osjeta iz tijela i slušnih signala iz ušiju. Uz poticanje okretanja očiju prema vidnom događaju, signali se prenose od gornjih kolikula kroz longitudinalni medijalni fascikul u druga područja moždanog debla, što uzrokuje okretanje glave i čak cijeloga tijela u smjeru vidnog događaja (Guyton i Hall, 2003: 598). Longitudinalni medijalni fascikul (*fasciculus longitudinalis medialis*) nosi okulomotoričkim jezgrama regulacijske signale iz malog mozga, iz vestibularnog i slušnog puta i iz retikularne supstancije, a posebno još dolaze i obavijesti i od proprioceptora vratnih mišića (Pansini, 1976: 12). Drugi

događaji, osim vidnih, kao što su jaki zvukovi ili čak udarac u stranu tijela, uzrokovat će sličan pokret očiju, glave i tijela, ali samo ako su gornji kolikuli neoštećeni. Prema tome, gornji kolikuli imaju ključnu ulogu u usmjeravanju očiju, glave i tijela s obzirom na vanjske podražaje, bilo vidne, slušne ili tjelesne (Guyton i Hall, 2003: 598). Vidna kora mozga upravlja preko okulomotoričkih jezgara pokretima očiju da bi se viđene slike mogle prostorno i vremenski povezati te je već ta regulacija multisenzorička zbog utjecaja talamusa (Pansini, 1976: 11).

Na taj način spaciocepcijske strukture nadziru svaki pokret očiju, a vidni signali i signali mjerenja prostora očnim mišićima ulaze u spaciocepcijsku obradu podataka. „Iako nam se naša slika svijeta čini koherentnom i cjelovitom, ona u biti nastaje na temelju aktivnosti trideset (ili više) različitih vidnih područja u kori, od kojih svako posreduje višestruke suptilne funkcije“ (Ramachandran, 2013: 63). Postoje četiri paralelna sustava zadužena za različita vidna svojstva: jedan za pokret, jedan za boju i dva za oblik, od kojih je jedan usko povezan s bojom, a drugi je neovisan o njoj. Ta specijalizirana područja u međusobnoj su vezi izravno ili preko drugih područja, a integracija signala u tjemenu ili sljepoočnom režnju ostvaruje se kroz lokalne sklopove koji povezuju podražaje (Mildner, 2003: 63).

Svijet opažamo ne samo iz promjena na mrežnici, nego i putem taktilnog doživljaja. Ta dva modaliteta vrlo su usko isprepleteni te je dokazano kako samo osoba koja je od rođenja slijepa može potpuno taktilno opažati, bez utjecaja vidnog osjeta (Damjanov, 1991: 50). Razdavanje tih dvaju opažaja u čovjeka zdravih osjetila može biti samo umjetno i nikad potpuno. Damjanov (1991: 50) pritom navodi pokus s Gregoryjevom kockom, koja je oblikovana od žice i premazana fosforescentnom tvari da bi se mogla vidjeti u mraku. Držeći Gregoryjevu kocku u ruci i gledajući je imat ćemo istovremeno različite osjetilne senzacije, odnosno vizualni i taktilni doživlja će se razlikovati – vizualno kocka će se okretati, a taktilni doživlja bit će stabilan. (Gregory, 1970, prema Damjanov, 1991).

5. Harmonija spaciocepcijskih osjetila

Uz dobro poznavanje anatomske i funkcionalne građe svakog pojedinog osjetila koja čine sustav za percepciju prostora, veliku pozornost treba posvetiti njihovoj integraciji. S obzirom na to da spaciocepcijska osjetila nisu specifično izolirana, njihovo djelovanje također ne može biti unimodalno, odnosno takvo da svako osjetilo djeluje samo za sebe. U dostatnoj mjeri osjetila se nadopunjuju, a donekle i preklapaju. U percepciji prostora, kao preduvjetu ostvarivanja svih ljudskih viših moždanih funkcija, do suradnje i preklapanja dolazi naročito na

centralnoj razini (Aras, 2018: 3). Tako su neka spaciocepcijska osjetila gotovo uvijek zajednički podražena te se kaže da djeluju *multisenzorički*. Primjerice, kod gledanja uvijek nužno sudjeluju propriocepcija oka te propriocepcija vrata i tijela, kod pipanja opip i propriocepcija, kod slušanja akustičko i vestibularno osjetilo (vestibulokohlearno slušanje), a u gustom mediju slušanju se priključuju opip i propriocepcija (Pansini, 1976: 12).

Dobar pokazatelj kako sam vid nije dostatan za percepciju prostora i pokreta jesu vidne obmane ili iluzije, koje se mogu koristiti za otkrivanje skrivenih pretpostavki u temeljima percepcije.⁶ Takvi i slični eksperimenti na vrlo jednostavan način omogućuju otkrivanje zakona vidnog funkcioniranja (Ramachandran, 2013: 71).

Kada vanjski događaji stimuliraju nekoliko osjetila, dolazi do konvergencije, odnosno usklađivanja informacija iz različitih modaliteta. Kad istovremeno vidimo i čujemo osobu koja govori dolazi do takvog objedinjavanja spaciocepcijskih osjetila koordinacijom koju realiziraju živčani centri. Poznati primjer naziva se McGurkov efekt, koji se svodi na to da vizualna informacija dobivena na temelju kretnji usana govornika utječe na ono što pojedinac čuje, odnosno na percepciju fonema. Kraće rečeno, slušna komponenta jednog zvuka uparena s vizualnom komponentom drugog zvuka vodi do percepcije trećeg (McGurk i MacDonald, 1976, prema Driver i Spence, 2000).

Isti se fenomen može potvrditi i u drugim, negovornim situacijama: zvuk jednog instrumenta – slika drugog instrumenta, a slično je i s vizualno-taktilnim modalitetima; na primjer, zvuk koji nastaje trljanjem dlana o dlan može izazvati percepciju teksture kože (Jousmäki i Hari, 1998, prema Driver i Spence, 2000).

U svom radu Watanabe i Mori (2018) navode slične primjere preklapanja osjetnih informacija iz senzornih modaliteta, koji su slični vidnim iluzijama te koji ukazuju da vid nije dostatan za osjet ravnoteže. Ako se prema licu osobe koja je u statičnom položaju i gleda neku sliku usmjeri puhanje, osoba će imati osjećaj da se kreće u tom prostoru prema naprijed (Seno i sur., 2011, prema Watanabe i Mori, 2018: 534). Ako putnik u vlaku koji još nije krenuo promatra vlak koji se kreće, putnik će imati osjećaj da se kreće u suprotnom pravcu od tog vlaka. Borković (2004) konstatira kako valja uzeti u obzir promjene položaja vlastitog tijela u odnosu na prizor koji se promatra. Pogledom pak upravlja propriocepcija, vestibularno osjetilo

⁶ Više o vidnim iluzijama, poput oblik-pomoću-sjenčanja, vidjeti u Ramachandran, 2013: 68. Također već spomenuta Gregoryjeva kocka (Damjanov, 1991). O drugim iluzornim efektima (Hermannova rešetka, reverzibilni sklop lika i pozadine, Wolffov učinak, Machove pruge itd.) vidjeti u Judaš i Kostović, 1997; Goldstein, 2011.

i vid, jer pomake oka valja uskladiti s pomacima glave i tijela te sa slikom koju ostvaruje vid. Prema tome, položaj promatranog predmeta može se odrediti ako ga se može uočiti kao sliku, ako ga se može pratiti pogledom te ako se uzme u obzir položaj promatrača u mirovanju ili kretanju (Borković, 2004).

Iz ovih je primjera jasno je kako spaciocepcijskim integriranjem, uz pomoć dodira i dubokog osjeta, propiocepcije te kretanjem u prostoru osoba može dobiti stvarnu sliku svijeta koji je okružuje (Runjić, 2003: 380). Osjetila će si pomagati u percepciji ako percipiraju isti prostorni izvor i događaj, ali ako percipiraju informacije koje su nekompaktne, jedno će osjetilo isključiti drugo kako se percepcije različitih podražaja ne bi ometale (Pansini, 1981: 3). Multisenzoričnost je također jedno od temeljnih načela na koja se oslanja verbotonalna terapija i rehabilitacija slušanja i govora verbotonalnom metodom.

5.1. Bilateralnost i hiralnost osjeta

Senzorička osjetila uglavnom su monomodalno podražena, ali ti se podražaji zatim bioelektričkim impulsima šalju u više dijelove radi sintetiziranja u jedinstveni prostorni doživljaj u središnjim strukturama. Integracija započinje već na samoj periferiji pojedinog organa, a zatim se nastavlja između desnog i lijevog osjetila istog modaliteta (Pansini, 1976: 14). Spaciocepcijski organi, osim mehanoreceptivnošću, određeni su i *bilateralnošću* (Runjić, 2003: 382), a ta dvostranost osjetila povećava prostorno snalaženje (čega nema kod njuha i okusa). Sva su osjetila bilateralna i hiralna što znači da se ne mogu preklopiti, već su u zrcalnom odnosu kao zrcalna slika lijeve i desne ruke: dva oka, dva uha, dvije hemisfere živčanog sustava (Borković, 2004). Svi su osjeti (s iznimkom osjeta njuha koji je većim dijelom ipsilateralan) također bilateralno zastupljeni u mozgu (Mildner, 2003: 103). Osjet sluha projicira se na obje strane mozga, s naglaskom da podražaji idu većim dijelom kontralateralno, a samo manjim dijelom ipsilateralno; podražaji iz oka također idu bilateralno, ali sa strožom lateralizacijom na stranu suprotnu perifernom organu, a somatosenzorički je osjet najvećim dijelom kontralateralan, kao i motorička kontrola, posebice motorika za fine pokrete prstiju (Mildner, 2003: 104).

S obzirom na bilateralnost, valja spomenuti i razlike u načinu obrade podataka u lijevoj odnosno desnoj hemisferi, unatoč sličnosti u njihovim općim percepcijskim funkcijama. Obje hemisfere aktivne su u svim zadacima, pa tako i jezičnim i prostornim, ali one na različite načine koriste informacije iz osjetnih podataka (Mildner, 2003: 88). Lijeva hemisfera specijalizirana je za jezične funkcije, a desna za obradu vidno-prostornih informacija, holističku sintezu

informacija. Primijećeno je da ozljede desne hemisfere mogu utjecati na sliku o vlastitu tijelu, na vidno pamćenje, vidnu percepciju, prostornu orijentaciju i svijest o bolesti.⁷

5.2. Multisenzoričnost

Iako svaki osjetilni podražaj ima svoj optimalni put od receptora do središnjeg živčanog sustava, svih pet osjetila harmonično surađuje, tj. facilitacijom i inhibicijom preinačuju monosenzoričke podatke i tvore čvrste prostorne oblike (Pansini, 1976: 12). To je moguće upravo zahvaljujući čvrstoj povezanosti svih hijerarhijskih faza funkcioniranja ljudskog tijela. Monosenzorički podaci na sve većim razinama udružuju se s podacima iz drugih modaliteta, a svaka razina sustava analizira poruke iz prethodne razine i time povećava složenost analize kako bi došlo do konačne sinteze. Opće je prihvaćeno da strukture na svim višim razinama senzoričkog sustava imaju sve manje senzoričku, a sve više perceptivnu ulogu (Mildner, 2003: 70). U Padovan i sur. (1991: 59) nalazimo jezgrovit opis razina na kojima se odvija pretvorba monosenzoričkih podataka u složene jedinice:

„Osjetni organi za percepciju prostora šalju obavijesti koje se spajaju i dopunjuju od nižih do viših razina stvarajući sve konzistentniju sliku prostora i adekvatniji motorički odziv, od središta u moždanome deblu koja služe odupiranju sili teži i održavanju ravnoteže, preko suptalamičkog područja u kojemu se nalazi središte za kretanje prema naprijed, do bazalnih ganglija i moždane kore koji daju svrsishodnost kretanju. U tercijarnoj zoni kore velikog mozga, na granici vidnog, slušnog, vestibularnog i senzibilnog (proprioceptivnog i taktilnog) područja, poruka prelazi u prostorni akustički kinetički događaj za dobivanje cjelovite slike svijeta.“

Temeljne razine koje se izdvajaju jesu: moždano deblo (u kojemu se nalazi mali mozak kao središnja jezgra), suptalamičko područje, bazalni gangliji, tercijarna (ili asocijativna) kora velikog mozga. Na svim tim razinama dolazi do preklapanja i integracije osjeta. Ako dođe do neslaganja između predviđene i osjetne poruke, te tri strukture (mali mozak, bazalni gangliji i talamus) zadužene su za procjenu senzorne pogreške i zatim informiraju primarnu senzoričku koru i sekundarna motorička područja, koja su zadužena za ispravljanje pogreške i slanje povratne informacije u primarno motoričko područje radi usklađenog i ispravnog pokreta (Casseb i sur., 2019).

U stručnoj se literaturi područje u kori velikog mozga na kojem se susreću vidni, akustički, vestibularni i taktilni modaliteti smješta u stražnji dio parijetalnog režnja (Andersen i sur., 1997: 303; Mountcastle i sur. 1975, Hyvärinen 1982, prema Andersen i sur., 1997: 303; Deane, 1992, prema Mildner, 2003: 79). Radi se o asocijacijskom području na kojem dolazi do

⁷ Više o lateralizaciji funkcija (većem nadzoru lijeve ili desne hemisfere nad nekom funkcijom od suprotne hemisfere) vidjeti u Mildner, 2003; Judaš i Kostović, 1997.

kombinacije informacija iz različitih senzornih modaliteta radi stvaranja jedinstvene reprezentacije prostora.

5.2.1. Parijetalna hipoteza

U području neurofiziologije i kognitivne lingvistike poznate su postavke pod imenom hipoteza o specijalizaciji oblika (*Spatialization of form hypothesis*), odnosno *parijetalna hipoteza* (Mildner, 2003). Parijetalna hipoteza pripada skupini konekcionistačkih modela (jedne od brojnih većih teorija građe, razvoja i funkcioniranja središnjeg živčanog sustava), a podrazumijeva interaktivnost i paralelnu obradu te široku rasprostranjenost i reprezentiranost funkcija i povezanost svih segmenata obrade (Mildner, 2003: 76).

Hipoteza o specijalizaciji oblika (parijetalna hipoteza) predviđa da je obrada jezičnih informacija (gramatička kompetencija) predstavljena u dijelu (ili dijelovima) mozga čija je primarna funkcija predstavljati shemu tijela, odnosno obrađivati prostorne strukture, posebice u odnosu prema vlastitom tijelu. To je direktni izomorfizam između prostornog i gramatičkog znanja. To bi područje trebalo biti smješteno u dijelu mozga gdje se konvergiraju i integriraju informacije iz vidnih, slušnih, kinestetskih i drugih osjetnih modaliteta (Deane, 1992, prema Mildner, 2003: 79). Spomenuta predviđanja odgovaraju dobro poznatim svojstvima donjeg dijela tjemenog režnja. Dakle, prema toj hipotezi, sjedište gramatičke (sintaktičke) kompetencije trebao bi biti donji dio tjemenog režnja, a ne, kako se tradicionalno pretpostavlja, čeonu režanj u području Brocina središta. Prema toj hipotezi afazija se može objasniti gubitkom svijesti o vlastitom tijelu (Mildner, 2003: 79).

Donji dio tjemenog režnja sjedište je svijesti o tijelu i orijentaciji prema ekstrapersonalnom prostoru jer integrira somatosenzoričke informacije; to je jedino kortikalno područje u kojem su istodobno dostupne informacije iz svih osjetnih modaliteta, o čemu postoje brojni klinički dokazi (Deane, 1992, prema Mildner, 2003: 80). Mnogi autori navode da stražnji parijetalni korteks predstavlja multimodalni centar koji ima ključnu ulogu u prostornoj reprezentaciji i kodiranju preciznih stanja tijela, pokreta i ubrzanja (Andersen, 1997; Whitlock i sur., 2012, prema Hitier i sur., 2014).

Bremmer (2005, prema Hitier i sur., 2014) navodi kako u ventralnom međuparijetalnom korteksu gotovo svi neuroni primaju vizualne informacije, oko polovice neurona prima vestibularne informacije, a manje od polovice prima somatosenzorni unos. Na temelju tih podataka kora velikog mozga integrira informacije o lokaciji subjekta unutar jednog metra (Colby i Goldberg, 1999, Bremmer, 2005, prema Hitier i sur., 2014). Čini se da je upravo donji

dio tjemenog režnja nužan za konstruiranje sekvencijalnih planova djelovanja – za manipulaciju nizova djelovanja kao mentalnih cjelina. Donji dio tjemenog režnja sjedište je sposobnosti da se predstave i manipuliraju složeni prostorni odnosi, uključujući i sposobnost prepoznavanja složenih predmeta prema prirodi i rasporeda njihovih dijelova (desna hemisfera i ljudi) (Deane, 1992, prema Mildner, 2003: 80). Oštećenje tjemenog režnja izaziva različite simptome, uključujući globalnu afaziju, agramatizam, poteškoće čitanja te poremećaje logike i gramatike (Deane, 1992, prema Mildner, 2003: 80). Osim toga, Deane (1992, prema Mildner, 2003: 80) navodi kako donji dio tjemenog režnja u desnoj hemisferi ima samo vidno-prostorne i somatske funkcije i izrazito je učinkovitiji u prostornoj obradi nego odgovarajući dio lijeve hemisfere. Isti dio u lijevoj hemisferi ima ključnu ulogu u koordinaciji oko-ruka i općenito u pokretima šake – ruka je uglavnom organ tjemenog režnja (kao ekstremiteti općenito), ona je dio tijela čija je glavna funkcija interakcija s okolinom. Smatra se da je prednji parijetalni vestibularni korteks centar integracije vestibularnog ulaza i somatosenzornih informacija iz glave, vrata i gornjih udova (Ödkvist i sur., 1974; Zarzecki i sur., 1983; Akbarian i sur., 1993; Guldin i sur., 1993; Akbarian i sur., 1994, prema Hitier i sur., 2014).

Razmjena informacija putuje u dvama smjerovima, ne samo od receptora prema središnjem živčanom sustavu nego i obratno. Perifernom sustavu spaciocepcija strukturira prostor u kojemu će taj sustav funkcionirati usklađeno i operativno ne samo za pojedinca već i za njegovu okolinu. Spaciocepcija je, načelno, važna i kao aferentna veza i kao eferentna povratna sprega (slanje valjanih i pravovremenih naredbi motoričkom sustavu). Preko ulaza senzoričke i izlaza motorike biće i svijet dolaze u međusobni kontakt te čine cjelovitost događaja (Padovan i sur., 1991: 59).

5.3. Korespondencija unutar spaciocepcije

Sinestezija osjetila moguća je zahvaljujući korespondenciji među osjetilima jer istim osjetilnim organima mogu biti primljeni i obrađeni različiti modaliteti. Ako je jedan od osjetilnih puteva oštećen, multisenzoričkom porukom taj se osjetilni put može facilitirati drugim osjetilnim putem, pa, primjerice, osoba sa slušnim oštećenjem slušni put može nadopuniti proprioceptivnim i vidnim podražajima.

Shodno tome, važno je objasniti pojam *transfera*. Transferi (npr. iz jednog frekvencijskog područja u drugo, iz jednog osjetnog organa u drugi) su neuralni procesi koji restrukturiraju spaciocepcijske procesore, a verbotonalna ih rehabilitacija usmjerava i ubrzava uz pomoć verbotonalne dijagnostike (Runjić, 2003: 382). Transferi ili prenošenje razumljivosti

u funkcionalno bolje sačuvano područje slušnog polja nude uhu najbolje razumijevanje govora na ograničenom kontinuiranom ili diskontinuiranom frekvencijskom području (Guberina, 2010). Takvo se slušanje može prenijeti u niske frekvencije (*niski transfer*), zatim u visoke frekvencije (*visoki transfer*) i na dva područja frekvencija (visoko i nisko, što je *diskontinuirani transfer*).

Transfer, prenošenje puta i obrade podataka s jednog (oštećenog) mjesta u drugo (neoštećeno), unutar jednog osjetila te iz jednog u drugo osjetilo, pojam koji je profesor Guberina uveo prije više od pola stoljeća, danas potvrđuje slikovni prikaz moždane djelatnosti (Runjić, 2003: 384).

Slikovni prikaz mozga u gluhih osoba pokazuje da znakovni jezik, koji se prima vidom, dopijeva u Wernickeovo govorno područje, ali samo ako nosi govornu poruku. Isto tako, ako se gluhoj osobi uputi govorna poruka somatosenzoričkim putem, vibratorom u ruci, dopije u Wernickeovo područje, i opet samo ako nosi govornu poruku, a ako nije govorna, odlazi jedino u somatosenzoričko područje kore mozga (Shibata, 2001, prema Runjić, 2003: 384), „čime je dokazana temeljna verbotonalna činjenica, *zakon specifične poruke*, što znači *zakon mjesta* specifične obrade poruke, pa je to od sada neuroznanstvena definicija *transfera* u verbotonalnoj metodi“ (Runjić, 2003: 384–385).

Fiziološki transfer se u slušanju može razviti spontano ili zahvaljujući rehabilitaciji prema verbotonalnoj metodi. Na osnovu ostataka sluha za relativno uska frekvencijska područja i uz relativno niske intenzitete može doći do relativno dobre ili potpune razumljivosti govornih struktura (Guberina i Simić, 1988: 54).

Uz fenomen slušnog transfera neizbježno je spomenuti optimalno slušno polje koje bi odgovaralo frekvencijski i intenzitetski određenom području u kojem je razumljivost govora najbolja, uz najmanje napore. Ono predstavlja optimalan put primanja i prijenosa poruke, a njegova dinamika može biti primjetna u svakodnevnom životu uredno čujuće osobe, ali i u rehabilitaciji slušno oštećenih.

Pansini (2001) razlikuje transfer iz jednog spaciocepcijskog osjetila u drugi – *horizontalnu korespodenciju*, i iz jednog modaliteta u druge modalitete – *vertikalnu korespodenciju*. Horizontalna korespodencija podrazumijeva da neki podražaj može biti percipiran kao opipni, proprioceptivni i vestibularni iako je stvoren pokretom glave, ali isto tako zvučni i vidni percipiranjem zvukova opipnim, proprioceptivnim, ravnotežnim (vestibularnim) i slušnim receptorima. Vertikalna korespodencija odlikuje se prikazom istih

oblika u svim modalitetima. Primjerice riječ *blag* korespondira *blagoj* prozodiji, *blagoj* mimici, *blagoj* gesti, *blagom* osjećaju koji ih prati (Pansini, 1989b: 37). Dakle leksički i intonacijski modaliteti prate denotativno i konotativno značenje riječi *blagost*, uz primjerene pokrete tijela i prikladnu popratnu gestu i mimiku.

Ta prevodljivost drugim osjetilnim putem temelji se upravo na mogućnosti restrukturiranja središnjih živčanih puteva. Na najvišoj razni, kortikalnoj razini u kori mozga, dolazi do svjesnog doživljaja kroz primarna (monomodalna) i sekundarna (multimodalna) područja svih pet spaciocepcijskih osjetila, a dobivene informacije usklađuju se potom u tercijarnom (panmodalnom) kortikalnom području (Runjić, 2003: 380), gdje se novopristigle informacije tumače kroz ranija iskustva i usvojena znanja (Mildner, 2003). Na temelju takve multisenzoričke obrade podražaja, s vremenom će osoba s oštećenjem sluha povećati svoje mogućnosti percipiranja slušnim putem, pa će u kasnijoj fazi rehabilitacije slušanja i malen dio sluha postati dovoljan za punu percepciju podražaja (Pansini, 1981: 4). Dakle nakon somatosenzoričkog puta rehabilitacije prelazi se na vestibulokohlearni put, što se prije tog stupnja rehabilitacije nije moglo postići (Borković, 2004).

Usko s transferom povezuje se i pojam *plastičnosti*. Plastičnost je sposobnost središnjeg živčanog sustava da se prilagodi ili promijeni pod utjecajem unutarnjih ili vanjskih čimbenika, a istovremeno omogućuje i funkcionalnu reorganizaciju – pojava da se (mozgovna) reprezentacija neke funkcije ili osjeta promijeni (Mildner, 2003: 64).

6. Spaciocepcijske razine strukturiranja

Pansini dijeli spaciocepciju na tri razine strukturiranja koje predstavljaju tri temeljne percepcije prostora. Svaka od njih sačinjena je od dodatne tri razine, *stereognozija* je za dodir, pokret i zvuk, *stereofonija* za zvuk, položaj i kretanje, a *stereopsija* za kretanje, pogled i sliku (Borković, 2004).

Ako se pri opisivanju spaciocepcije krene od periferije prema središtu i od dolje prema gore, prvo valja spomenuti sedam percepcija. Čine ih dodir, pokret, zvuk, položaj, kretanje, pogled i slika (Borković, 2004). Sedam se percepcija ostvaruje preklapanjem preko pet spaciocepcijskih osjetila: opipa, propiocepcije, ravnoteže, sluha te vida. Sve to predstavlja prvu razinu spaciocepcije – mehanocepciju. Do druge razine spaciocepcije, integracije, dolazi spajanjem svih sedam percepcija u tri temeljne grane spaciocepcije: stereognoziiju, stereofoniju

i stereopsiju. Njima se priključuju spaciognozija, spaciofonija i spaciopsija. Integracijsku strukturu spaciocepcije čine središnji dijelovi putova svih osjetila spaciocepcije (Borković, 2004). Stereognozija se, osim kao integracijska razina za prepoznavanje prostornih oblika, definira kao sposobnost prepoznavanja nekog predmeta samo opipom. Uz pomoć pokreta prstiju, koje nam služi kao pomično mjerilo, doznajemo oblik i veličinu predmeta u ruci, njegovu teksturu, pa čak i funkciju. Stereofonija je trodimenzionalna reprodukcija zvuka pri kojoj se stječe dojam o prostornom rasporedu njegova izvora, pa se tako zvuk, osim uz stereofoniju, veže i uz stereognoziju. Zvuk u prostoru nije moguće odrediti ako slušač ne percipira vlastiti položaj u prostoru te odnos prema sili teži. Stereoskopija je fotografska reprodukcija koja prikazuje snimke u tri dimenzije. Položaj promatranog predmeta može se odrediti ako ga se može uočiti kao sliku, ako ga se može pratiti pogledom te ako se uzme u obzir položaj promatrača u mirovanju ili kretanju (Borković, 2004). Kretanje, koje je zajedničko stereofoniji i stereopsiji pod nadzorom je propriocepcije, osjetila za ravnotežu te sluha (Borković, 2004).

Iste razine strukturiranja spaciocepcije kao tri temeljne percepcije prostora (stereognozija, stereofonija i stereopsija) mogu se prepoznati i u rehabilitaciji slušanja i govora prema verbotonalnoj metodi. Budući da takva rehabilitacija uključuje svih pet spaciocepcijskih osjetnih organa, može se odrediti kao *senzomotorna*, *stereoreceptivna*, *stereognostička*, *stereofonska* i *stereoskopska* (Runjić, 2003: 382).

Kako je već više puta rečeno, u svjesnoj spatiotemporalnoj percepciji sudjeluju temporalni i parijetalni režanj sa spaciocepcijskim poljem i hipokampus. Pansini navodi kako senzomotorički sklop čini ulazna vizualno-slušno-taktilna percepcija s istaknutom ulogom stereognozije, stereofonije i stereopsije, čime se posebno ističe prostorna percepcija, i izlazna lokomocijsko-govorno-manualna spretnost (Pansini, 1995: 127–128). Jasno je kako je u osnovi govorne aktivnosti, povezane s cjelokupnom tjelesnom aktivnošću – prostor.

7. Prostor i govor

Pod pojmom *prostor* obično se podrazumijeva neograničena protežitost, ukupnost odnosa u svim dimenzijama i pravcima, koji zajedno s vremenom predstavljaju osnovni oblik ili kategoriju postojanja materijalnoga svijeta. U toj kategoriji nastanjena su sva živa bića, pa tako i čovjek. U prostor je smješten, u njemu se kreće, misli, djeluje, uz bezbrojne mogućnosti verbalne i neverbalne komunikacije s okolinom i drugim bićima.

Bit je svake komunikacije uspješna razmjena mišljenja, anticipacija događaja, učenje i pamćenje već stečenih znanja o prirodi koje je čovjek supstancijalan dio. Identificirajući se u odnosu na samog sebe i u odnosu na druge, jezik i govor omogućuju mu više ili manje uspješnu društvenu izgradnju. Čovjek je prema tome govorno, a samim time i društveno biće, a jedna i druga osobina mogu se odvijati samo u prostornim okvirima u kojima je čovjekovo opstojanje nemoguće bez zraka. „Da bi biološki egzistirao, čovjek ima prostor sa zrakom, zračni prostor“ (Guberina, 1986: 88).

Socijalna dimenzija govora ostvaruje se u dvosmjernoj ili višesmjernoj komunikaciji u kojoj je važan element slušanje koje je organski povezano s govorom. Govorna aktivnost moguća je uz ispunjenje temeljnog uvjeta – strujanja zračne struje. „Tako su život čovjeka i govor čovjeka vezani uz iste osobine prostora, to jest zvučni prostor, što daje osnovnu biološku uvjetovanost života: mogućnost disanja i mogućnost realizacije govora“ (Guberina, 1986: 88). Kako zvuk, koji je mehaničko gibanje, proizlazi iz pokreta te je uvijek praćen pokretom, tako je i percepcija zvuka vezana uz percepciju prostora, što znači uz percepciju pokreta i zvuka (Pansini, 1976: 13). Bez zraka nema ni glasa, isticao je Guberina (2010). Zvuk je važan u percepciji prostora jer određuje smjer izvora zvuka, njegovo kretanje, primicanje ili udaljavanje, a daje i podatke o građi i veličini izvora zvuka (Pansini, 1976: 13). Osim toga čitavo tijelo strukturirano u pokretu, proizvodi ritam koji utječe na čitav izgovor (Guberina, 1986: 93), jer je artikulacija ponajprije rezultat tjelesnih pokreta.

Negovorna i govorna komunikacija mogu se ostvariti samo unutar određenih prostornih okvira, unutar kojih se čovjek kreće i snalazi pomoću spaciocepcijskih osjetila. Pansini spominje nekoliko važnih autora koji su u svojim istraživanjima spaciocepcijska osjetila primarno povezivala sa sposobnošću govora i slušanja. Tako je Klosovski (1963, prema Pansini, 1995: 127–128) ustvrdio da vestibularni sustav ima ključnu ulogu u lateralizaciji i govoru, a De Quiros i Schrager (De Quiros 1978, 1978, prema Pansini, 1995: 127–128) potvrdili su značenje vestibularnog sustava u razvoju govora i u učenju. Fizijatar Greg Kelly (1989, prema Pansini, 1995: 127–128) zajedno s liječnicima raznih drugih specijalnosti otkrio je da vestibularnim podražajima pomažu u rehabilitaciji disleksije, disgrafije, nerazvijena govora i mnogih drugih bolesti i stanja (Pansini, 1995: 127–128). Jasno je iz navedenog da je sve povezano jer je tijelo ishodište i receptor govora, a usklađenost tih dviju razina (mehanoreceptorne i reprezentacijske) dovodi do središnje, integracijske razine u živčanom sustavu koja predstavlja puni izraz sveukupne dubinske strukture. Stvaranje dubinske prostorne strukture jezika ovisi o fizičkim prostornim strukturama (Borković, 2004), i to zato što je govor,

realiziran u koordinatama prostora, izomorf topografske realnosti (Pansini, 1995). I u govoru i u prostoru vrijede jednaka/određena shematska pravila, prema kojima se iz površinske razine jezika leksički i značenjski materijal preslikava u dubinsku razinu. Govor ili, preciznije, govoreni jezik, sačinjen je ne samo od lingvističkog materijala, već i od drugih, nelingvističkih elemenata poput prozodije, ritma, mimike, geste, pokreta tijela i vrednota govora. Logotaksiju kao dio sintakse valja promatrati u okviru odnosa površinske i dubinske razine jezika. Dubinska struktura transformacijskim postupcima dospijeva do govora i površinske sintaktičke strukture verbalnog jezika (Borković, 2004).

Dubinskoj sintaktičkoj strukturi pripada spaciogramatika – koncept prema kojem je somatosenzorika neodvojiva cjelina. U njoj je sve gramatički-prostorno organizirano kroz tri svijeta: anorganski, biološki i idejni. Sva su tri svijeta suglasna, korespondentna (Borković, 2004), što potvrđuje izomorfičnost govora i prostorne (ili topografske) realnosti.

7.1. Gramatika prostora

Filozofija verbotonalne teorije je interdisciplinarna i obuhvaća opću lingvističku teoriju, audiološku teoriju i neuropsihološku teoriju slušne percepcije. U okvirima ovoga rada zanimat će nas kako spaciocepciju i spaciocepcijske spoznaje najbolje iskoristiti u rehabilitaciji oštećenja sluha i govora. Pojam dubinske strukture u Guberininoj lingvistici govora pojam je koji dolazi iz neurolingvistike, koju je razvio Aleksandar Lurija (1975, prema Pansini, 1995: 131–132). Lurija je taj pojam preuzeo od Vigotskog i Chomskog, čiji su radovi neminovno utjecali na razvoj psiholingvistike. Dubinska struktura je zapravo „najdublja razina“ semantičkih predodžbi na putu artikuliranoga govora (Chomsky 1957, prema Pansini, 1995: 131–132). Verbalni jezik jedan je od korespondentnih jezika koji omogućuju komunikaciju, a svi jezici prevode se pomoću spaciocepcijskih procesora i integriraju na najvišoj, kortikalnoj razini (Runjić, 2003: 382), što je potvrđeno i bilježenjem mozgovne aktivnosti:

„Lurija je započeo okulografska ispitivanja poremećaja mišljenja (Lurija 1975), a današnja tehnologija videookulografije povezana s kartografijom mozga (brain mapping) može razjasniti tek naslućenu topologiju mišljenja i govora. Kartografijom mozga dokazano je da imenovanje poznatog pojma povezuje skupine neurona na raznim mjestima mozga, a kad je riječ bez značenja, aktivira se samo slušna kora (Fischbach 1992). Svaki pojam nastaje polisenzorički, a kad je učvršćen, onda mu pobuđivač (Lorenz 1986) može biti vrlo mali monomodalni dio. Svaki novi pojam mijenja strukturu mozga. Što je Lurija semantičkim grafikonima samo pretpostavljao, kartografijom je potvrđeno: u gramatici surađuju različiti dijelovi mozga ovisno o gramatičkim pravilima i odnosima. Domasio ih zove područjima kombinatoričkih kodova, a oni su prostorno raspoređeni, polisenzorički su, smješteni u spaciocepcijska područja i oblikuju veće strukture koje se mogu nazvati topografskim rečenicama ili topografskim diskursom.“ (Pansini, 1995: 131–132).

Budući da ljudski mozak radi na principu strukture, i govoreni jezik percipira kao strukturu (Guberina, 1967a: 8). Struktura se stvara na osnovi vanjskih stimulusa koje mozak integrira prema određenim optimalnim elementima i kasnije strukturalno organizira u cjelinu (Guberina, 1967a: 8). Ti vanjski stimulusi, osim leksičkih elemenata, ne bi bili potpuni bez neleksičkih elemenata, koje zajednički imenom Guberina (1999) naziva *vrednotama govorenog jezika*: intonacija, intenzitet, rečenično tempo, pauza; mimika, geste, stvarni kontekst. Pomoću njih se govor, odnosno, određene komponente govora percipiraju različitim osjetilima, a svaka od njih u određenoj količini pridonosi razumijevanju poruke (Aras, 2018: 4).

Pansini u verbotonalnu teoriju uvodi pojam *gramatike prostora*, koja otkriva korespondenciju i metaforičnost između jezika i stvarnosti. Gramatika, kao skup pravila za slaganje dijelova (riječi) u cjeline (rečenice), ne odnosi se samo na verbalni jezik već, prije svega, na predmetnu stvarnost (Pansini, 1989b: 33), a upravo spaciocepcija omogućuje prevođenje *gramatike prostora* u *gramatiku govora* (Runjić, 2003: 382). Događaj i govor su korespondentni jer pripadaju univerzalnom jeziku, čemu je analogna veza između svijeta ideja i fizičkog svijeta. Drugim riječima, apstraktno proizlazi iz konkretnog. Kako je govor produkt mišljenja, tako je i mišljenje produkt djelovanja u zamišljenom prostoru. „Pravila koja vrijede u prostoru, prenose se na govor. Nemoguće je shvatiti govorne strukture, gramatičnost govora, bez prethodnog poimanja prostornih struktura“ (Aras, 2018: 3). Neosporno, bez prostornosti nema govora, a pomoću gramatičkih pravila vrši se posredovanje između prostornog događaja i prostornog verbalnog jezika. To posredovanje, analogno prethodnome, mora biti prostorno jer „sve podliježe gramatici prostora“ (Pansini, 1990: 102). Gramatika prostora jednaka je i u jeziku i mišljenju, kao i u ustrojstvu svijeta jer „sastavlja strukture po istim pravilima i zakonima.“ (Pansini, 2001: 3–4). A upravo se unutar spaciocepcije stvaraju prostorne predodžbe, prostorno mišljenje i prostorni govor te omogućuje slobodan protok informacija i motorička povratna sveza, bez koje bi senzorika bila nesvrhovita (Pansini, 1989b: 35).

Jezik izražava situacije, ali leksički izraz upotpunjuju gesta i mimika, stvarajući kontekstualno značenje. Značenje, po svemu sudeći, proizlazi iz kombinacije tih elemenata koji stvaraju specifične uvjete za strukturalno slušanje i brzo razumijevanje, tvoreći na taj način cjelinu koju mozak percipira kao strukturu. Gramatika, koja je najočigledniji oblik jezične strukture, omogućava brzu percepciju i konverzaciju (Guberina, 1967a: 10).

Pansini je naglašavao važnost pokreta i svladavanja prostora u općem razvoju, a naročito u razvoju govora pa je tako povezao snalaženje u prostoru sa snalaženjem u jeziku, tj. osvajanje/osvješćavanje prostora s usvajanjem govora i jezika. Govor je nužno dijalog (bilo sa

samim sobom, bilo između čovjeka i prirode, bilo između ljudi) u kojemu se ostvaruju određeni uzročno-posljedični odnosi koji funkcioniraju kao gramatička načela. Gramatička pravila koja su u logičnoj službi zakonitosti jezika, kao takva preuzimaju/preslikavaju se iz stvarnosti. Stvarnost je sama po sebi element svakog izraza (Guberina, 1967a: 11), pa je, analogno tome, „govor verbalni oblik realnih događaja“ (Piaget i Inhelder, 1986, prema Pansini, 1989b: 35).

Gramatička pravila ne kažu samo da, na primjer, postoje veznici u jeziku nego upozoravaju da jedan dio najavljuje oblik koji slijedi, a taj nagovještaj olakšava slušanje tog drugog dijela (Guberina, 2010: 153). Na taj način gramatički oblici pomažu korespondenciji između vanjskog svijeta i moždanih operacija strukturiranja te stvarnosti. Upravo gesta dokazuje da je govor izomorf realnosti jer oponaša prostornost zamišljenog prošlog ili budućeg događaja (Pansini, 1990: 101). Mnoga od najosnovnijih značenja koja jezik izražava, jednako semantička i sintaktička, temelje se na spacijalnim (prostornim) reprezentacijama, i to zato što je sustav značenja preverbalnog jezika prostorno strukturiran (Mandler, 1996: 365). Mandler također dodaje kako te informacije o prostoru treba shvaćati kao „značenjske okvire“ koji funkcioniraju i u prelingvističkoj fazi razvoja.

Kako prirodna gesta upotpunjuje govor i govornu misao te prati ritam govornih intonacija, u pojedinim komunikacijskim situacijama gramatika funkcionira kao višak, tj. kao redundantnost. Stoga je ponekad određena gramatička načela moguće eliminirati jer se ona uvijek javljaju kao konvencija (Guberina, 1967a: 13). Primjerice, u dijalogu: *Kada ćete doći? – Doći ćemo u četvrtak*; dio koji se odnosi na *doći ćemo* u odgovoru redundantan je jer ga recipijent očekuje, a svoju pažnju usmjerava na novu informaciju – *u četvrtak*. Kao rezultat eliminacije suvišnih elemenata i odabira optimalnih elemenata dolazi do percepcije koja će dati maksimalni učinak, odnosno omogućit će stvaranje značenja. Takvo se oblikovanje očituje ne samo u granicama verbalne čovjekove sposobnosti već i u drugim područjima djelovanja koje premašuje granice govora, primjerice u fizikalnim, biološkim, fiziološkim, psihološkim i arhitektonskim znanstvenim područjima (Guberina, 2010: 129). Na istom principu funkcionira i gramatika prostora. Budući da je jezik prostoran te je svaka gramatika dio opće gramatike prostora, logičan je paralelizam geste i govora, njihovo upotpunjavanje ili, u slučaju redundancije, međusobno isključivanje.

8. Razvoj govora u svjetlu spaciocepcije

Uz pomoć dodira i propriocepcije te kretanjem u prostoru dobiva se stvarna slika svijeta koji okružuje čovjeka. Isto se događa i u fiziološkom razvoju slušanja i govora. Dijete razvija te funkcije usko vezano za razvoj motorike, od dizanja glave, preko sjedanja do kretanja. Kognitivni razvoj, slušanje i govor razvijaju se uz potporu motorike i percepcije odnosa u prostoru. „Razvoj slušanja i govora ne ovisi samo o perifernoj slušnoj funkciji, nego i o cijelom spaciocepcijskom statusu, o vidu, sluhu, propriocepciji, dodiru i vestibularnom osjetilu“ (Runjić, 2003: 380). Dijete u isto vrijeme vidi i pipá pa se ta dva osjeta uvježbavaju istovremeno. Dijete istražuje prostor očima, dok u isti mah prolazi kroz njega rukama i nogama te na taj način uči povezivati taktilni s vizualnim modalitetom. „Kad zna da su vidljive izvanjskosti znakovi izvjesnih mogućih taktilnih osjeta, kad znade transportirati vizualno u taktilno, tad ono zamjećuje prostor s pomoću vida“ (Guillaume, 1958, prema Pansini i Šimunjak, 1992: 48). Sve počinje pokretom te je međusobno nadopunjavanje, odnosno veza između kognicije i pokreta vidljiva u opažanju objekata i svijeta oko sebe te učenja o njegovim značajkama (Bulat 2014, prema Kiš-Glavaš, 2016: 39).

Osnovni uvjet postojanja ljudskog života jest *afektivnost* koja stvara mogućnost komunikacije i interakcije između novorođenčeta i okoline (Guberina, 1991: 66), a dakako bit će važna za cjelokupni razvoj i razvitak djeteta (fizički i mentalni). Također ni usvajanje jezika i govora ne može se ostvariti bez afektivnog kontakta s okolinom. Predverbalno razdoblje uključuje razne oblike glasanja koja se ne nazivaju nužno odmah jezikom (Erdeljac, 2009: 296), ali kojima se ispunjava komunikacijska uloga jer omogućuju djetetu da komunicira s okolinom te da izrazi svoje tjelesne potrebe, želje i emocionalna stanja. Upravo zbog tog nedostatka jezičnoga koda, dijete koristi afektivnost, koja će biti ključna i za razvoj u verbalnom razdoblju. U skladu s tim, razvoj govora u djeteta fiziološki prati razvoj motorike. Dijete prvu riječ progovara obično paralelno s prvim samostalnim koracima krajem prve godine, a tijekom druge, nastavljajući kretanje, spoznaje odnose u prostoru i njegove pravilnosti. Senzorno iskustvo u interakciji s okolinom dovodi do značajnog kognitivnog razvoja u relativno kratkom vremenu, što je karakteristika prve, *senzomotorne* razvojne faze (Piaget, 1983; prema Aras, 2018: 4). Prostor je nužna scena na kojoj se pojavljuju i razvijaju sve osnovne poluge za nastajanje govora jer tijelo djeteta u svojoj anatomsko-fiziološkoj konstituciji, svojim pokretima i položajima u prostoru i svojom kožom pruža veliki dio preduvjeta za rađanje govora (Guberina, 1991: 66). Stimulacijom vestibularnog osjetila i propriocepcije može se regulirati afektivnost, koja u govoru daje ključno značenje poruci, ali se njome koristimo i u rehabilitaciji

da bi pacijenta doveli u stanje u kojem bolje spoznaje i uči. U svemu tome uvelike pomaže sensorika, koja se razvija istodobno s oblikovanjem afektivnosti. Sensorika se također javlja paralelno kao povratna reakcija u obliku napetosti tijela pri pokretu (npr. usklađenost određenog pokreta, izraza lica, izabranog položaja tijela s afektivnim krikom ili s afektivnošću govorne poruke) (Rulenkova, 2015).

Tijelo je ishodište govora (Pansini, 1995: 125). Makropokret, odnosno cijelo tijelo kao izraz govora, pokazuje se kao optimalan put u razvoju slušanja i govora već u najranijoj dobi. Prvi glasovi izlaze iz fiziološkog stanja novorođenčeta, a osim toga ležeći položaj djeteta omogućuje da zračna struja, nailazeći na prepreku u velarnom dijelu usne šupljine, može pomoću proprioceptivnog osjeta proizvesti i emisije zvučnih skupina koje slušno diskriminiramo kao konsonantske spojeve *kr*, *hr*, *gr* (Guberina, 1999: 105). Budući da propriocepcija posreduje u ravnoteži tijela, lako se zaključuje kako je tijelo u vezi s određenim položajem u prostoru generator prvih ljudskih glasova (Guberina, 1986: 89). Na tim se biološkim pretpostavkama temelji verbotonalna teorija i rehabilitacija po verbotonalnoj metodi.

Piaget je ustvrdio da je prva godina života izuzetno važna ne samo za senzomotorički razvoj djeteta nego i za više kognitivne funkcije koje se uspostavljaju u tom razdoblju te potiču usvajanje jezika i govora (Mandler, 1996: 366). Daljni psiho-fizički razvoj djeteta u uskoj je vezi s razvojem govora u predverbalnom razdoblju. Paralelno s pojavom sjedenja dijete započinje s imitacijom ritma i intonacije materinskog jezika i govora, i to svojom sposobnošću vokalne imitacije ili oponašanja. A budući da je intonacija nosilac rečenične cjeline, prodire u sve sintaktičke strukture jezika (Guberina, 1967a: 10). Pojavom hodanja razvija se usporedno i ritam tijela i ritam govora (Guberina, 2010: 56). Zanimljivo je kako su pokreti dječjih udova u taktu s ritmom ljudskog govora, ali ne i s drugim zvukovima. Djetetova makromotorika odrazit će se i na mikromotoriku govornih organa, a budući da ritam prethodi govoru i usklađenosti makromotoričkih pokreta tijela i mikromotoričkih pokreta glasova govora, možemo reći da ima najveću važnost u usvajanju jezika (Guberina 1995: 161).

Usvajanje prvih i osnovnih govornih struktura nastavlja se dalje uz sve veću složenost pokreta i savladavanje složenijih prostornih odnosa. Djeca kroz različite igre poput slaganja stvari, građenja dvoraca u pijesku, igre skrivača i sl. konstruiraju prostorne pojmove blizine (neposrednosti), razdvajanja, rastavljanja, okruživanja (opkoljavanja) čega i reda (Johnston, 1985: 969, prema Bowerman, 1996: 388). Igranjem s različitim predmetima dijete uči kako oni mogu biti u različitom odnosu jedan prema drugome (autić je *pored* lutke, kocka je *na* autiću, lopta je *iza* lutke i sl.). Bowerman (1996: 388) ističe kako je među jezicima svijeta zajednički

redosljed usvajanja prijedloga (oko druge godine života): prvo dolaze prijedlozi koji označavaju sadržavanje čega (*u*), zatim podupiranja čega ili oslanjanja na što (*na*), slijede prijedlozi koji se tiču odnosa ispod, zatvaranja, poklapanja čega (*ispod*), prijedlozi koji označavaju blizinu (*blizu, između, pored*), a zatim prijedlozi za prostorne odnose koji označavaju neki poredak (*ispred, iza*).

Konkretno prostorne oznake poprimaju i šira značenja pa općenito označavaju odnose: ljubav *prema* majci; biti *ispod* svake realne vrijednosti; cijeniti knjigu *više od* filma; *od* prve godine *nadalje*, srljati *u* propast (Guberina, 1999: 108). Slično navodi i Aras (2018: 3): „Primjerice, da bi shvatili prijedloge, komparaciju, metaforu u izrazu ili rečenici, potrebno je prethodno imati predodžbu (misao, sliku) o tome što te riječi znače u prostoru (pred Božić i iza Božića, u razmaku od dvije godine; što se krije iza njegovog osmijeha; ljubav je bila veća od častoljublja).“ Mandler (1996: 276) ističe da djeca najprije usvajaju glagole radnje ili zbivanja, a tek potom glagole stanja. Glagoli radnje izražavaju konkretan put koji dijete može iskustveno predočiti pomoću slikovnih shema (primjerice, glagol *padati* može se predočiti odgurivanjem igračke niz rub stola). Slobin (1985, prema Mandler, 1996: 377) ističe da je ta distinkcija između prijelaznih i neprijelaznih glagola jedno od prvih gramatičkih pravila koje djeca usvajaju, neovisno o materinskom jeziku.

Kroz sve te načine dolazi do preslikavanja stvarnosti u složene gramatičke, točnije sintaktičke strukture koje dijete nesvjesno usvaja i uči pomoću percipiranja zbivanja koja se odvijaju oko njega. Tako tijekom igre i svakodnevnih aktivnosti dijete stavlja aktivno predmete u odnose, ali i povezuje naučene riječi, pa se do kraja druge godine obično i javlja neki oblik višечlanog iskaza i jednostavne rečenice (Piaget, 1983; prema Aras, 2018: 4). Osim toga stižu se i druge jezične razine, npr. uzročno-posljedični odnosi, vremenski pojmovi, prostorni položaji i brzina pokreta, pokreti tijela prilagođeni govornom ritmu itd. Sve su to preduvjeti usvajanja govora koji se preklapaju s djetetovim mogućnostima u savladavanju prostora. Pritom se u kretanju dijete orijentira pomoću osjetila, gdje dominantnu ulogu imaju starija osjetila: vestibularno osjetilo, propriocepcija i dodir (Borković, 2004). Napetost i jačina čitavog tijela djeteta tijekom pokretanja u prostoru odrazit će se u položaju govornih organa tijekom djetetova izgovaranja glasova. Prostor kao osnova za govor u punini se očituje u potpunom ljudskom izrazu – onom koji je popraćen prirodnom i spontanom gestom i mimikom. Tjelesna aktivnost, kao temeljna biotička potreba, od velike je važnosti tijekom cijelog djetinjstva i u mlađoj školskoj dobi te predstavlja istodobno uvjet ne samo za usvajanje motoričkih znanja važnih za

rješavanje svakodnevnih životnih potreba nego i za najbolji razvoj i regulaciju ljudskih osobina i sposobnosti (Kiš-Glavaš, 2016: 40).

9. Verbotonalna teorija

Povezanost osjeta i njihova uloga u razvoju i funkcioniranju čovjeka kao cjeline temelji se na sinergiji pet osjetila – opipa, propriocepcije, ravnoteže, sluha i vida. U cijelom komunikacijskom sustavu (jezik-govor-slušanje) u središtu je čovjek koji se kreće u dimenzijama prostora. Dakle, neosporna je povezanost prostora, pokreta i govora.

Na tim je postavkama izras(ta)la verbotonalna teorija, filozofsko-lingvistička koncepcija čiji je glavni utemeljitelj Petar Guberina (1913–2005). Godine 1954. Guberina je razvio verbotonalni sustav koji obuhvaća verbotonalnu i strukturalno globalnu audio-vizualnu (SGAV) metodu (koja se primjenjuje na proces učenja stranog ili materinskog jezika). U verbotonalnoj teoriji/metodi upravo spaciocepcija povezuje filozofsku misao s kliničkom praksom (Aras, 2018: 3). Za razumijevanje temelja verbotonalne teorije potrebno je razmotriti međudjelovanje triju komponenata koje predstavljaju biološke i socijalne okvire egzistencije čovjeka: čovjek, jezik/govor, svijet. Sve tri komponente zapravo polaze od humanističke pretpostavke, odnosno *iz čovjeka*, a jednako tako ova znanstvena teorija s područja govorne komunikacije svoju svrhovitost pronalazi upravo u djelovanju *za čovjeka*, što će se najbolje ogledati u rehabilitaciji slušno i govorno oštećenih osoba. Verbotonalna metoda osniva se na teoriji i iskustvu da je pacijent polazna točka i medij vlastite rehabilitacije, polazeći od optimalnih, iako ograničenih, mogućnosti pacijenta (Guberina i Simić, 1988: 36).

Budući da se čovjek doživljava kao cjelina, i različite odrednice njegova djelovanja nužno se moraju promatrati cjelovito, odnosno *strukturalno-globalno*, a to je ujedno i osnovno polazište za teorijski i praktični rad. *Globalno* se odnosi na sveukupnost značenja sastavnica koje optimalno djeluju u govornoj strukturi te koje percipiramo istovremeno kao cjelinu: glasovi, intonacije, ritam, gesta, situacijski kontekst, civilizacijski kontekst, znanje. *Strukturalno* se odnosi na strukturu u govoru i jeziku koja predstavlja zakonitost struktura u ostalim domenama čovjekova djelovanja. Naime struktura kao obilježje govora ne poima se u tradicionalnom strukturalističkom smislu kako je definiraju u lingvističkoj disciplini de Saussure i ostali strukturalisti, nego kao rezultat optimalnog djelovanja, odnosno emitiranja i percipiranja u onim oblicima koje mozak smatra najpovoljnijim, optimalnim odabirima (Guberina, 2010: 481).

Jezik sa svojim leksičkim i gramatičkim oblicima predstavlja biološko-fiziološki i socijalno-kulturološki određen sustav koji služi za sporazumijevanje. U verbotonalnoj teoriji determinira se kao *govoreni jezik* ili *govor* u komunikaciji (Guberina, 2010: 43). Govor je društvena pojava koja se realizira kroz dijaloški odnos između dvaju ili više govornika, kao unutarnji dijalog (monolog) sa samim sobom ili kao dijalog između čovjeka i prirode, odnosno svijeta koji ga okružuje (Guberina, 2010: 148). Jezik je, stoga, veza između čovjeka i prirode, tj. između čovjeka i svih njegovih individualnih i društvenih manifestacija. Čovjek, kao i priroda, funkcionira kao struktura; osjetni organi, mozak, percepcija i pokreti počivaju na strukturalnim zakonima. Jezik ima oblik strukture, jer ljudski mozak može percipirati jezik samo kao strukturu pomoću oka (stvarnost, pokreti) i pomoću uha (Guberina, 1967a: 8).

Čovjek, kao subjekt komunikacije, svojim akcijama, sudovima i zaključcima pokreće svijet (Guberina, 1995: 159). „Teško je ili nemoguće razumjeti razvoj govora i jezika bez prihvatanja i razumijevanja da su mnogi zakoni opći, da su prisutni u jednom, drugom i trećem svijetu, da univerzalni zakoni i čine ta tri svijeta, anorganski, organski i duhovni kao holistički univerzum.“ (Pansini, 2001). U tom su univerzumu govor i slušanje vezani uz prostor, u kojem se ostvaruju i pokreti. Dakle, sve je međusobno povezano i uvjetovano, ali ne i isključivo. Primjerice, iako je dobar sluh preduvjet razvoju govora, patologija slušnog osjetila ne mora značiti trajnu patologiju govornog razvoja, jer izolirani sluh nije dovoljan da bi se razvilo slušanje: „Slušno osjetilo samo za sebe nije dostatno, nego se sluša preko sustava za percepciju prostora“ (Pansini, 1989b: 33).

9.1. Osnovne postavke verbotonalne teorije

Guberina (1967b: 7) u proučavanju slušanja i razumijevanja govora ističe sljedeće bitne odrednice verbotonalnog sistema:

- 1) vrijeme je strukturalni faktor
- 2) ograničena frekvencijska područja dovoljna su da se pod određenim uvjetima govor razumije
- 3) kombinacije frekvencija i intenziteta u diskontinuiranoj formi dovode do razumljivosti govora
- 4) čitavo tijelo radi i kao receptor i kao transmiter
- 5) napetost je rezultat agonističkih i antagonističkih mišića
- 6) pauza predstavlja aktivnost.

Ti se parametri koriste u verbotonalnom sistemu u strukturalnom smislu, što znači da će svaki od njih biti važan prvenstveno za percepciju.

9.2. Keidelov spaciocepcijski prikaz slušnog puta

Odrazi jedinstva tijela i svijeta koje nalazimo u fiziologiji, posebice u senzorici i motorici (Pansini, 1995) mogu biti prikazani na slikovit, ali vrlo precizan i točan način. Osim klasičnog slušnog puta, koji je detaljno opisan u poglavlju *Osjet sluha i slušno osjetilo*, u literaturi se često spominje i Keidelov spaciocepcijski prikaz slušnog puta.

Keidel (1980) među prvima je otkrio u slušnome putu procesore za govor kod životinja i brojne povezanosti s ostalom spaciocepcijom (Pansini, 1995: 126–127). Keidelov slušni put znatno se razlikuje od klasičnog prikaza, prvenstveno zato što osim klasične slike slušnog puta i poznate neuroanatomske veze slušnog puta, uključuje i ostala četiri spaciocepcijska osjetna puta (vidni, propriocepcijski, taktilni, vestibularni). Po tome je najbliže onome što je razvila verbotonalna teorija i rehabilitacija.

Klasični prikaz predstavlja slušni put izolirano, počevši od periferije, pa sve do kore velikog mozga. Međutim, u Keidelovu prikazu interakcijske i integracijske veze prisutne su od periferne razine, kada slušni i vestibularni živac čine jedan živac, osmi moždani živac, a nastavljaju se preko retikularne formacije, cerebeluma, donjeg i gornjeg kolikula, medijalnog i lateralnog koljenastog tijela (Runjić, 2003: 380).

Velika važnost pritom pridaje se talamusu koji, kao jezgra preko koje prelaze svi osjetni putovi, funkcijski predstavlja ono što mu etimološko ime znači. Talamus (lat. *thalamus* – postelja) i pulvinar (lat. *pulvinar* – jastuk) doslovno su postelja (krevet) i jastuk spaciocepcije i integracije slušnih, vidnih, vestibularnih i somatosenzoričkih impulsa (Chusid 1976, prema Pansini, 1995; Runjić, 2003: 380).

Talamokortikalni put vodi u asocijativni Wernickeov centar za govor, koji je opet kratkim asocijativnim vlaknima povezan sa sekundarnim i posredno s primarnim somatosenzoričkim, vidnim, slušnim i vestibularnim poljima. Na najvišoj, kortikalnoj razini procesiraju se dakle informacije iz svih pet osjetila. Korteks stoga čine primarna ili monomodalna i sekundarna ili multimodalna područja tih osjetila. Informacije koje su pristigle iz svih pet spaciocepcijskih ulaza usklađuju se u tercijarnom ili panmodalnom kortikalnom području.

10. Verbotonalna rehabilitacija

Važnost pojma strukture naglašena je mnogo puta. „Misli se i komunicira prostorno s pomoću odgovarajućih prostorno organiziranih receptornih, neuralnih i mišićnih struktura. Razumijevanje i korištenje te usporednosti prvo je i nepromijenjeno načelo verbotonalne metode prisutno u svim rehabilitacijskim postupcima“ (Pansini, 1992b: 53). To znači da se kod svih spaciocepcijskih osjetila na periferiji vrši analiza, a u centralnim strukturama sinteza. Složenu slušnu poruku valja rastaviti na dijelove da bi se živčanim mehanizmima bioelektričkih potencijala mogla prenijeti u središnji živčani sustav u kojemu će se formirati značenje poruke. Osim rastavljanja na dijelove, važno je kojim putem će se poruka poslati. Dakako da uvijek treba veću pozornost obratiti na onaj put koji je funkcionalno pripravan, tj. sposobniji da poruku i prenese.

Rehabilitacija osoba s oštećenjem sluha, a posebice gluhe osobe, u prvom redu je rehabilitacija slušanja preko spaciocepcije. Pansini (1976:26) takvu rehabilitaciju naziva *stereorehabilitacija*, a u nju je uključeno podraživanje svakog pojedinog osjetila specifičnim *stereopodražajima* jer spaciocepcijski organi, definirani svojom mehanoreceptornom sposobnošću i bilateralnošću, omogućuju čovjeku funkcionalno egzistiranje u svijetu.

Radi se o specifičnoj metodologiji rehabilitacije slušanja i govora koja je proizašla iz verbotonalnog sistema, a kojoj je također osnovno polazište čovjek, odnosno njegovo tijelo i senzoričke mogućnosti. U svim segmentima rehabilitacije naročita je važnost poklonjena funkciji tijela kao cjeline (Guberina, 1967a: 5). Glavni je cilj svake rehabilitacije (ponovno) uspostavljanje uspješne komunikacije i uvjeta koji je omogućuju, a to je prije svega (re)strukturiranje centralnih mehanizama obrade prostornog zvuka. U tom smislu tijelo predstavlja optimalan put kojim se šalju signali kako bi došlo do osposobljavanja svakog pojedinog senzoričkog modaliteta u cjelovitosti osjeta za prostor. „Postoji lanac koji logično povezuje sve elemente od vanjskog stimulusa do mozga. Jedna karika tog lanca, koja je vrlo važna, osjetni su organi“ (Guberina, 1967a: 8). Stoga je sljedeći stupanj integriranje, usklađivanje i oblikovanje tih poruka u centralnim supkortikalnim strukturama.

Verbotonalna metoda preslikava putove djelovanja ljudskog mozga koji funkcionira selektivno (Guberina i Simić, 1988: 36). Prema tome, iako se u rehabilitaciji kreće od somatosenzoričkog puta, rehabilitacijski procesi usmjereni su na promjene u čovjekovom središnjem živčanom sustavu, a ne na periferiji (preko uha ili somatosenzoričkog puta). U rehabilitaciji koja se odvija preko spaciocepcijskog sustava, od iznimne važnosti su središnji

mehanizmi i restrukturiranje poruke (Borković, 2004). Rezultati takve stereorehabilitacije neće biti vidljivi u tonskom audiogramu osobe jer nagluha osoba neće mijenjati prag sluha, ali će zato biti poboljšán verbotonalni audiogram. Isto tako, prag sluha preko slušalica i vibratora mjeren preko ruke neće pokazivati promjene prije i poslije rehabilitacije, ali će se promjene pokazati u verbotonalnom i govornom audiogramu (*ibid.*).

Premda stanje perifernih receptora i živaca ostaje nepromijenjeno, uspješnost rehabilitacijskih postupaka koji se temelje na verbotonalnoj metodi, ukazuje na promjene u centralnim mehanizmima. Centralni procesi, dakle, znatno utječu na modificiranje perceptivne forme (Pozojević-Trivanović, 1988: 31), jer dolazi do restrukturiranja poruke, pa se može zaključiti kako je u podlozi tih procesa upravo mehanizam plastičnosti.

Rehabilitacija po načelima verbotonalne teorije je strukturalno-globalna, što znači da istovremeno uključuje čitavog čovjeka i njegove integracijske sposobnosti sa sastavnicama koje čine tu strukturu. Pritom je nedvojbeno kako će promjena na strukturalnoj razini načiniti promjenu i na globalnoj razini govora, isto kao što će obrnuto, ona na globalnoj razini utjecati na strukturalnu (Posilović i Radošić, 2018: 219).

Prema Runjić (2003: 383) verbotonalna rehabilitacija može se podijeliti u tri stupnja:

1. *monomodalno podraživanje* – vježbanje svakog spaciocepcijskog osjetila njegovim specifičnim podražajem: oka svjetlom i slikom, opipa dodirom, uha zvukom, vestibularnog osjetila pokretom
2. *multimodalno podraživanje* – vježbanje svakog spaciocepcijskog osjetila zvučnim podražajima u funkciji govorne komunikacije
3. *panmodalno podraživanje* – vježbanje integracije svakog pojedinačnog spaciocepcijskog osjetila s ostala četiri osjetila (podraživanje slušnog osjetila proprioceptivnim, vestibularnim, opipnim i vidnim podražajima, itd.).

Monomodalno, multimodalno i panmodalno podraživanje u rehabilitaciji prati neurofiziološku organizaciju središnjeg živčanog sustava i jedino se tako omogućuje svladavanje gramatike prostora kao uvjeta za usvajanje gramatike jezika (Runjić, 2003: 382). O funkcionalnom stanju centralnih struktura ovisi kako će određeni stimulus biti oblikovan (registriran ili funkcionalno iskorišten). A to pak ovisi o prethodnom „treniranju“ mozga, o rezultatima facilitacije i boljem poznavanju oblika toga stimulusa. Za slušanje govora to znači da kvaliteta slušanja ovisi o prethodnom poznavanju slušnih formi koje se percipiraju

(Pozojević-Trivanović, 1988: 31). Zato je dobro (ali naravno ne i jedino moguće ili isključivo) paziti na redoslijed rehabilitacijskih postupaka u verbotonalnoj metodi. Naime za uspješnost rehabilitacije ključna je koordinacija svih osjetila spacioepcije, ali i njihovo postupno uključivanje u rehabilitaciju – u za to predviđenim razdobljima, jer se na taj način poboljšava slušanje. Verbotonalna rehabilitacija slijedi fiziološki razvoj slušanja i govora, pazeći na filogenetski razvoj svakog osjetila. Da bi se u rehabilitaciji prošli svi filogenetski stupnjevi, osobito prepoznavanje smjera zvuka, Pansini (1992a: 44) predlaže da bi bilo dobro započeti radom u vodi, nastaviti vibrirajućom daskom i prijeći na vibratore u obje ruke preko stereofonskog SUVAG aparata. Slijedi stupanj istovremenog somatosenzoričkog i vestibulokohlearnog puta (Pansini, 1992a: 44). Na primjeru teško nagluhe osobe predlaže se primjenjivati sljedeće tri faze rehabilitacije slušanja (koje su istovjetne prethodno spomenutim stupnjevima rehabilitacije koje navodi Runjić, 2003):

1. somatosenzorički put; optimalan put za početak rehabilitacije osoba s teškim oštećenjima sluha
2. postupno uključivanje vestibulokohlearnog puta uz prethodno aktiviran somatosenzorički put
3. vestibulokohlearni put, ako je kod pacijenta očuvano vestibularno osjetilo.

Verbotonalna rehabilitacija uvijek teži oponašanju stvarnih, smislenih situacija koje izazivaju spontane fizičke i emocionalne reakcije kod djeteta (Posilović i Radošić, 2018: 218). Takvo oponašanje spontanijih situacija iz svakodnevnog života otvara uvijek bezbrojne mogućnosti komunikacije. Dobar primjer takvih rehabilitacijskih postupaka svakako su igre-dramatizacije koje se mogu tematski vezati uz sva područja i djelatnosti života, a valja birati one teme koje će najviše privući pažnju djece te potaknuti njihov interes (Rulenkova, 2015: 109).

Osjetljivost čitavog tijela i svih osjetilnih receptora sudjeluje u stvaranju perceptivnih predodžbi, odnosno u percepciji glasova govora. To je naročito važno u slučajevima teških oštećenja unutrašnjeg uha, kod teške naglušnosti i gluhoće. Tijelo je osjetljivo na vrlo niske frekvencije (< 100 Hz), a ta prednost nezaobilazan je put u svakoj rehabilitaciji slušanja i govora, posebice u samom početku procesa rehabilitacije. Kod slušnih oštećenja, rehabilitacija slušanja ne ostvaruje se samo preko slušnog osjetila nego i preko cijele spacioepcije, čime se pokreće cjelovita komunikacija. Težište se stavlja na vestibularno osjetilo, jer se ono smatra središnjim usklađivačem sustava za osjet prostora. Najosjetljiviji dijelovi tijela tada funkcioniraju kao optimalan receptor i prijenosnik zvučnih (mehaničkih) podražaja (Guberina, 1986: 89). U tom slučaju dolazi do „prevodljivosti“ osjetila, tj. korespondenciji, jer se

informacija koju nije moguće percipirati slušnim osjetilom, može podudarno prenijeti drugim osjetilom.

Povezanost vestibularnog osjetila s višim kognitivnim funkcijama, posebice razvojem govora i slušanja, ali i pažnjom i koncentracijom (Kelly, 1989, prema Aras, 2018: 6; Palla i Lenggenhager, 2014; Rajagopalan i sur., 2017) ogleda se u važnosti vestibularnih i propioceptivnih stimulacija od najranijeg djetinjstva. Tako roditelji instinktivno umiruju svoju djecu ritmičkim repetitivnim kretnjama (hodanje, ljuljanje, ritmičko njihanje u naručju, okretanje i prevrtanje, bacanje u zrak i dočekivanje uz ritmičke usklike). Kasnije, kad se malo motorički osamostale, djeca i dalje intenzivno traže vestibularno-proprioceptivnu stimulaciju (ljuljačke, tobogani, vrtuljci), što im je očito i razvojno potrebno (Aras, 2018: 6). Spaciocepcija i gramatika prostora najjasnije tumače odnose vestibularnog sustava i govora, i razloge takve povezanosti (Pansini, 1995: 127–128). Razvoj vestibularnog aparata jedna je od važnijih sastavnica rehabilitacije djece, stoga je važno provoditi vestibularne vježbe za razvijanje vestibularnog aparata, poput naklona, skokova, okreta, vježbi na trampolinu, poticanja pravocrtnih i kružnih ubrzanja (npr. hod s predmetom u rukama, valjanje/kotrljanje, kolut naprijed, hod po neravnom terenu, hod po gredi, penjanje po ljestvama, skok u dalj, skok u vis, poskakivanje na jednoj nozi itd.) (za više primjera vidjeti u Rulenkova, 2015; Kiš-Glavaš, 2016).

10.1. Važnost niskih frekvencija u rehabilitaciji po verbotonalnoj metodi

Kako je i prethodno objašnjeno, u slučajevima teške naglušnosti ili perceptivne gluhoće tjelesna vodljivost funkcionira kao optimalan receptivni put zvučnih izvora. Pri tome je nužno služiti se kompleksnim strukturama u emisiji i transmisiji – putem niskih frekvencija koje se obično nazivaju *vibracije* (Guberina, 1967b: 14). Ritam, koji prethodi govoru i usvajanju jezika, prenosi se upravo putem niskih frekvencija.

U rehabilitaciji tomu služe pojačala, tj. elektro-akustički aparati konstruirani prema verbotonalnoj metodi i principu optimalnih slušnih polja, koja imaju mogućnost pojačavanja vrlo niskih frekvencija. Prvi znakovi vestibularnog odgovora na zvuk niske frekvencije elektrofiziološki su zabilježeni 60-ih godina prošlog stoljeća (Bickford i sur., 1964, prema Aras, 2018: 5). Detekcija ove pojave kasnije je prilagođena za kliničke potrebe i korištenje u dijagnostičke svrhe, te se u ustanovama koje se bave patologijom vestibularnog osjetila i ravnoteže, primjenjuje pod nazivom VEMP (vestibularni evocirani miogeni/mišićni potencijali) (Aras, 2018: 5).

Početak rehabilitacije prema verbotonalnoj metodi djeteta s velikim gubitkom sluha uključuje vibrotaktilnu fazu u kojoj se podražuje cijelo tijelo uporabom niskih frekvencija. U toj se fazi stimulacijom niskim frekvencijama provode vježbe uz uporabu aparata VERBOTON G10 u nekoliko varijanti – na vibrostolu bez slušalica i slušnih pomagala, na vibrostolu sa slušalicama i slušnim pomagalicama, samo sa slušnim pomagalicama, na vibrostolu sa slušalicama (Rulenkova, 2015: 61). Karakteristike vibratora i slušalica koje se koriste u transmisiji frekvencija kombiniraju se s rezonantnim frekvencijama dijelova tijela na kojima su postavljeni kako bi se stvorile, uz vremenski faktor, različite integrativne strukture (Guberina, 1967b: 14) i olakšala percepcija zvuka. Dijelovi tijela koji su posebno osjetljivi na niske frekvencije i koji sadrže najviše Meisnerovih tjelešca su: vršci prstiju, dlanovi, nokti, zapešće, laktovi, ključna kost, prsna kost, obrazi, različite točke na glavi (čelo, nos, obrazi, uške), određena područja kralježnice, koljena i različite točke na nozi.

Najčešće spominjani primjer somatosenzoričkog slušanja kod gluhih je tipična čujnost niskih frekvencija jakog intenziteta (tzv. *left corner audiogram*), ali treba uzeti u obzir da bi to mogao biti i odgovor otolitičkog dijela vestibularnog osjetila (Aras, 2018: 5). Stoga se smatra da je osim proprioceptivnih tjelešaca, za primanje akustičkih stimulacija vrlo niskih frekvencija zadužen sakulus vestibularnog organa. Na taj način vestibularno osjetilo utječe na centralnu koordinaciju svih impulsa iz mehanoreceptora koja se vrši preko retikularne supstancije (Pansini, 1967: 115). Zato je važno paralelno s razvojem slušanja raditi i na razvijanju vestibularnog osjetila, motoričkih sposobnosti te osjećaja za vlastito tijelo i njegova stanja opuštenosti i napetosti. Napetost i opuštanje, intenzitet, ritam, tonaliteti strukturalni su faktori jezika urođeni biološkom biću i zahvaljujući kojima mozak stvara strukturalnu percepciju svijeta omogućavajući dijalog između čovjeka i vanjskog svijeta (Guberina, 1967a: 11).

U slušanju govora uz niske frekvencije mogu sudjelovati neka viša frekvencijska područja iako je njihova jačina ispod praga čujnosti pa se iz toga izvodi zaključak da niske frekvencije u zvučnom signalu mogu povoljno djelovati na čujnost (pa onda i na razumljivost) visokih frekvencija ljudskog glasa (Guberina i Simić, 1988: 39). To je moguće zbog toga što slušanje nije kontinuirani fenomen, već je (i kod urednog, i kod oštećenog sluha) diskontinuirana pojava. Upravo je *diskontinuitet* bitno obilježje optimala glasova, ali i ostalih optimala kojima ljudski mozak funkcionira kako bi, procesima filtriranja vanjskih podražaja, omogućio stvaranje psiholingvističkih struktura koje su mu optimalne (Guberina, 2010: 150). Tako primjerice u slušnoj percepciji slušamo odabirući samo one frekvencije zvukova koje su optimalne, odnosno dovoljne za oblikovanje i jačanje strukture slušanja, eliminirajući ostale,

suvišne frekvencijske i intenzitetske vrijednosti. To znači da se na temelju diskontinuiteta tonskih visina postiže cjelina govora (Guberina, 2010: 153), jer su odabrani optimalni elementi dostatni za percipiranje cjelovitosti. Radi se o odabiru prema načelu – *što manji napor i što bolji rezultat*. U tom smislu razumijevaju se i optimalne glasova govora vezane za osnovna akustička svojstva: visina, jačina i trajanje tona te prepoznavanje smjera izvora tona (Pansini, 2001).

Prema tomu, razlikuju se *frekvencijski diskontinuitet* – podrazumijeva prekidanje frekvencijskog linearnog pojasa, primjerice kada se u optimalnoj oktavi pojedinog glasa preskaču nepotrebne frekvencije i odabiru samo one najpotrebnije; *intenzitetski diskontinuitet* – podrazumijeva smanjivanje ili na trenutke isključivanje obrade glasnoće govora, osobito tijekom obrade prepoznatljivijih i jačih govornih struktura; *vremenski diskontinuitet* – obuhvaća povremeno isključivanje obrade podataka tijekom vremena slušanja, češće u slušanju jačih i poznatijih struktura (valja imati na umu da jačini strukture pridonose i gramatičke zakonitosti),⁸ *prostorni diskontinuitet* – odražava se u lokaliziranju izvora zvuka koji se, jednom utvrđen, ne obrađuje sve dok zvuk ne prijeđe razlikovni prag od jednog kutnog stupnja (Pansini, 2001).

Diskontinuirano slušanje omogućuje dulje i preciznije slušanje, bez zamora osjetila, jer se sluša na temelju najekonomičnijeg i najučinkovitijeg odabira. To je osobito važno u slučajevima patologije slušanja, gdje će optimalne diskontinuiteta biti u frekvencijski užem području, a slušanje ostvareno kroz niski, visoki ili diskontinuirani transfer, čime će se omogućiti funkcionalno poboljšanje percepcije govorne cjeline. Diskontinuiranim slušanjem ostvaruje se bolja razabirljivost govornog signala pa u slučajevima oštećenja sluha može doći i do 100%-tne točnosti prepoznavanja riječi i razumijevanja konverzacijskog govora jer se u takvom slušanju koriste područja s najbolje očuvanim slušnim ostacima, čime se nadomješta gubitak na preostalim frekvencijama (Asp, 2006). Stoga je pojam diskontinuiteta, kojim se omogućuje funkcionalno poboljšanje percepcije govorne cjeline, neizostavan dio u rehabilitaciji po verbotonalnoj metodi.

Rehabilitaciju sluha, popravljivanje izgovora i razvijanje percepcije govora najuspješnije počinjemo pomoću ritmičkih pokreta tijela, brojalice i fonetskih ritmova. Guberina (1971: 6). to objašnjava ovako: „Fonetski ritmovi su praćeni pokretima. Kod brojalice struktura ovih pokreta slijedi ritam kompozicije govornih glasova, dok je smjer pokreta slobodan. Naprotiv, ritam zasnovan na tjelesnim pokretima treba slijediti fiziološku i biološku produkciju govornih

⁸ O gramatičkom sustavu u jeziku koji omogućava diskontinuirano slušanje govora (Guberina, 2010) detaljnije se govori u poglavlju *Gramatika prostora*.

glasova. To znači da su tjelesni pokreti usmjerni pokreti“. Osim navedenog, važne su sve vježbe koje sadrže pokret i usmeni govor, zatim vježbe disanja, glazbene stimulacije, vježbe taktilnog osjeta, vježbe slušanja, vježbe grube i fine motorike, vježbe ravnoteže i vježbe (slušne) orijentacije u prostoru (npr. igre skrivanja i otkrivanja) itd.

Usporedno sa stvaranjem slušne percepcije, u najranijoj rehabilitacijskoj fazi treba raditi na izazivanju i automatiziranju reakcija na zvuk ili glas, a to uključuje fazu tzv. *refleksnog glasanja* u koju pripadaju: fiziološki krik, plač, smijeh, gukanje – refleksni su, nemaju svjesnu komunikacijsku vrijednost i nisu jezično specifični, ali imaju neke od značajka budućeg govora. To će za cilj imati proizvođenje prirodnog glasa, afektivno glasanje i dramatizacija, povezivanje prvih riječi s predmetima i razumijevanje jednostavnih pitanja (Rulenkova, 2015: 60). Anatomsko-fiziološka konstitucija djetetova tijela s određenim položajem u prostoru, ritmom njegovih pokreta i usklađenosti mimike s intonacijom riječi, stvorit će preduvjete za nastanak „kompletnog ljudskog izraza“ (Guberina, 1986: 90) u kasnijoj, lingvističkoj fazi.

11. Zaključak

Gledano s razvojnog aspekta, tijelo je dominantni senzorni ulaz za sve vrste podražaja (Asp, 2006: 9). Sa stajališta spaciocepcije, svi periferni receptori su osjetljivi na mehaničke podražaje. Budući da su im mehanizmi slični, svako od osjetila može postati eksteroreceptor. Moguće je uvjetno svaku od pojedinačnih percepcija nazvati slušanjem: slušanje slušnim osjetilom, vestibularno slušanje, taktilno i proprioceptivno slušanje, a sve se mogu svesti pod zajednički nazivnik – „slušanje preko tijela“. Slušanje tijelom ostvaruje se proprioceptivnim i opipnim živčanim putovima, a oni se u neurofiziologiji zajedno zovu i somatski senzorički put. Slušanje preko uha je kohlearni put, a slušanje preko tijela je somatosenzorički put koji predstavlja optimalan put u rehabilitaciji slušanja i govora po verbotonalnoj metodi.

Osjet za prostor (spaciocepcija) je složeni osjet, koji nastaje na osnovi podataka koji u SŽS dolaze s periferije iz osjetila za ravnotežu, sluh, vid, površinski i duboki senzibilitet. Zbog toga su i živčane veze koje povezuju sva ova osjetila i SŽS vrlo složene. Za razliku od drugih osjetila, vestibularne informacije u središnjem živčanom sustavu odmah postaju multisenzorne i multimodalne, zahvaljujući višestrukim razinama obrade informacije (Angelaki i Cullen, 2008: 125).

Sve što se odnosi na prostor, što je vezano uz propriocepciju, vid i sluh, ima osobinu istovremenosti, zajedničkog postojanja i raspoređivanja (Pansini i Šimunjak, 1992). Sukcesivnost percepcije prelazi u simultanost predodžbe. Integriranjem postupnih percepcija u prostorni geometrijski raspored cjeline omogućava čovjeku funkcionalno kretanje i snalaženje u prostoru, slušanje i govor te međuodnos s drugim bićima i stvarima u okolišu. Svime time ostvaruje se najvažnija zadaća spaciocepcije – strukturalno pripadanje dijelova cjelini, cjelini čovjeka.

Literatura

1. **Andersen**, R. A., Snyder, L. H., Bradley, D. C. i Xing, J. (1997). Multimodal representation of space in the posterior parietal cortex and its use in planning movements, *Annual Reviews Neuroscience*, 20, 303–330.
2. **Angelaki**, D. E. i **Hess**, B. J. M. (2005). Self-motion-induced eye movements: effects on visual acuity and navigation. *Reviews*, vol 6: 966–976.
3. **Angelaki**, D. E. i **Cullen**, K. E. (2008). Vestibular System: The Many Facets of a Multimodal Sense. *Annual Review of Neuroscience*, 31, 125–150.
4. **Aras**, I. (2018). Spaciocepcija u dijagnostici i rehabilitaciji. U: *Translacijski pristup u dijagnostici i rehabilitaciji slušanja i govora – 55 godina SUVAG-a, znanstveno-stručna monografija*, Zagreb: Poliklinika SUVAG.
5. **Asp**, C. W. (2006). *Verbotonal Speech Treatment*. San Diego: Plural Publishing, CA.
6. **Blakemore**, S. J., Chris D. F. i Daniel M. W. (1999). Spatio-Temporal Prediction Modulates the Perception of Self-Produced Stimuli. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11, 5, 551–559.
7. **Borković**, Lj. (2004). *Neuropsiholingvistička osnova slušanja, mišljenja i govora (temelj verbotonalne teorije)*. Zagreb: Hrvatska verbotonalna udruga.
8. **Bowerman**, M. (1996). Learning How to Structure Space for Language: A Crosslinguistic Perspective. U: *Language and Space* (ur. P. Bloom, M. A. Peterson, L. Nadel i M. F. Garrett). Cambridge: The MIT Press, 385–436.
9. **Bumber**, Ž., Katić, V., Nikšić-Ivančić, M., Pegan, B., Petric, V. i Šprem, N. (2004). *Otorinolaringologija* (izvršni urednici: V. Katić i B. Kekić). Zagreb: Medicinska biblioteka, Naklada Ljevak.
10. **Casseb**, R. F., de Camposa B. M., Martineza, A. R. M., Castellano, G., França Juniora, M. C. (2019). Selective sensory deafferentation induces structural and functional brain plasticity. *NeuroImage: Clinical* 21, 1–8.
11. **Damjanov**, J. (1991). *Vizualni jezik i likovna umjetnost; uvod u likovno obrazovanje*. Zagreb: Školska knjiga.
12. **Driver**, Jon i **Spenc**, C. (2000). Multisensory perception: Beyond modularity and convergence. *Current Biology*, 10, 20, 731–735.
13. **Erdeljac**, V. (2009). *Mentalni leksikon: Modeli i činjenice*. Zagreb: Ibis grafika.
14. **Goldstein**, E. B. (2011). *Osjeti i percepcija* (ur. V. Kolesarić; prev. K. Modić Stanke i V. Rebić). Jastrebarsko: Naklada Slap.

15. **Guberina, P.** (1967a). Audiovizuelna-globalnostrukturalna metoda, *Govor*, 5–30.
16. **Guberina, P.** (1967b). Metodologija verbotonalnog sistema. *Govor*, 5–19.
17. **Guberina, P.** (1971). Fonetski ritmovi u verbotonalnoj metodi. *Govor*, 3, 3–13.
18. **Guberina, P.** (1986). Govor i prostor. *Filologija* 14, 87–95.
19. **Guberina, P. i Simić, M.** (1988). Razumijevanje govora pomoću niskih frekvencija. *SUVAG*, I, 1–2, 35–54.
20. **Guberina, P.** (1991). Preduvjeti govorne komunikacije. *Senjski zbornik*, 18, Zagreb, 63–67.
21. **Guberina, P.** (1995). *Filozofija verbotonalnog sistema*. *Filologija*, 24–25, 157–164.
22. **Guberina, P.** (1999). Govor kao temelj svih organizacijskih struktura zagrebačke fonetike. *Govor* 16, 2: 101–115.
23. **Guberina, P.** (2010). *Govor i čovjek. Verbotonalni sistem* (ur. V., Crnković, I. Jurjević-Grkinić). Zagreb: ArTresor naklada.
24. **Guyton, A. C. i Hall, J. E.** (2003). *Medicinska fiziologija; deseto izdanje* (ur. hrvatskog izdanja: S. Kukolja Taradi i I. Andreis). Zagreb: Medicinska naklada.
25. **Hitier, M., Besnard, S. i Smith, P. F.** (2014). Vestibular pathways involved in cognition. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 8, 59.
26. **Johnson-Laird, P. N.** (1996). Space to Think. U: *Language and Space* (ur. P. Bloom, M. A. Peterson, L. Nadel i M. F. Garrett). Cambridge: The MIT Press, 437–462.
27. **Judaš, M. i Kostović, I.** (1997). *Temelji neuroznanosti*. Zagreb: MD.
28. **Kiš-Glavaš, L.** (2016). *Rehabilitacija putem pokreta. Integrativni pristup poticanju razvoja djece i mladih s teškoćama u razvoju i podizanju kvalitete života osoba s invaliditetom*. Zagreb: Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Edukacijsko-rehabilitacijski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
29. **Krmpotić-Nemanić, J.** (1971). *Funkcionalna anatomija živčanog sustava i osjetila*. Zagreb: Medicinska naklada.
30. **Luers, J. C. i Hüttenbrin, K. B.** (2016). Surgical anatomy and pathology of the middle ear. *Journal of Anatomy*. 228, 2, 338–353. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4718166/> (pristupljeno 28.III.2019.)
31. **Mandler, Jean M.** (1996). Preverbal Representation and Language. U: *Language and Space* (ur. P. Bloom, M. A. Peterson, L. Nadel i M. F. Garrett). Cambridge: The MIT Press, 365–384.
32. **Maslovara, S. i Butković Soldo, S.** (2011). *Vestibularna rehabilitacija*. Vukovar: Veleučilište Lavoslav Ružička u Vukovaru.

33. **Mildner, V.** (2003). *Govor između lijeve i desne hemisfere*. Zagreb: IPC grupa.
34. **Padovan, I., Kosoković, F., Pansini, M. i Poljak, Ž.** (1991). *Otorinolaringologija*, Zagreb: Školska knjiga.
35. **Palla, A. i Lenggenhager, B.** (2014). Ways to investigate vestibular contributions to cognitive processes. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 8, 40, 1–4.
36. **Pansini, M.** (1967). Vestibularne pretrage u osoba oštećenja sluha. *Govor*, 2, 103–117.
37. **Pansini, M.** (1976). *Spaciocepcija i rehabilitacija slušanja*. Zagreb: Centar SUVAG.
38. **Pansini, M.** (1989a). Sjetimo se značenja vestibularnog osjetila. *SUVAG*, 2, 1–2, 107–112.
39. **Pansini, M.** (1989b). Spaciocepcija i gramatika prostora kao slušanje i govor. *Filologija*, 17, 33–37.
40. **Pansini, M.** (1990). Jezik geste u gramatici govora. *Govor*, 7, 2, 101–118.
41. **Pansini, M.** (1992a). Opip i propriocepcija u slušanju. *SUVAG*, V, 1–2, 43–45.
42. **Pansini, M.** (1992b). Spaciocepcija govora. *SUVAG*, V, 1–2, 53–59.
43. **Pansini, M. i Šimunjak, B.** (1992). Značenje vestibularnog osjetila u spaciocepcijskoj integraciji. *SUVAG*, V, 1–2, 1–94.
44. **Pansini, M.** (1995). Univerzalnost verbotonalnih zasada. *Govor*, 12, 2, 125–134.
45. **Posilović, M. i Radošić, I.** (2018). Značaj afektivnosti u rehabilitaciji dječje govorne apraksije prema verbotonalnoj metodi. U: *Translacijski pristup u dijagnostici i rehabilitaciji slušanja i govora – 55 godina SUVAG-a, znanstveno-stručna monografija*. Zagreb: Poliklinika SUVAG, 216–222.
46. **Pansini, M.** (1981). *Neke biološke osnove verbotonalne rehabilitacije*. Zagreb: Centar SUVAG.
47. **Pansini, M.** (2001). *Opće verbotonalne optimale*. Osmo javljanje – Osobne stranice. URL: <http://www.suvag.hr/~mpansini/index.htm> (zadnji put pristupljeno 27.V.2019.)
48. **Pozojević-Trivanović, M.** (1988). Razvijenost govora i slušanje. *SUVAG*, I, 1–2, 29–34.
49. **Rajagopalan, A., Jinu, K. V., Sailesh, K. S., Mishra, S., Reddy, U. K. i Mukkadan, J. K.** (2017). Understanding the links between vestibular and limbic systems regulating emotions. *Journal of Natural Science, Biology and Medicine*, VIII, 1, 11–15.
50. **Ramachandran, V. S.** (2013). *Pričljivi mozak. Potraga neuroznanstvenika za onim što nas čini ljudima* (prevela: Mirjana Krizmanić). Zagreb: TIM press.

51. **Roy, J. E. i Cullen, K. E.** (2004). Dissociating Self-Generated from Passively Applied Head Motion: Neural Mechanisms in the Vestibular Nuclei. *The Journal of Neuroscience*, 24, 9, 2102–2111.
52. **Rulenkova, L.** (2015). *Kako malo gluho dijete naučiti slušati i govoriti primjenom verbotonalne metode* (ur. A. Dulčić). Zagreb: Poliklinika SUVAG.
53. **Runjić, N.** (2003). Neurofiziološke osnove verbotonalne rehabilitacije slušanja i govora. *Govor*, 20, 1–2, 379–386.
54. **Tadinac, M. i Hromatko, I.** (2012). *Uvod u biološke osnove doživljavanja i ponašanja*. Zagreb: FF press.
55. **Vlahović, S.** (2014). *Vrijednosti neuralne povratne telemetrije i psihoakustičkih parametara kod djece s umjetnom pužnicom ovisno o dobi pri operaciji*. Doktorska disertacija. Zagreb: Medicinski fakultet
56. **Watanabe, N. i Mori, F.** (2018). Sensory Integration Model of Pedestrian by Vection and Somatosensory Stimulation. 8th Annual International Conference on Biologically Inspired Cognitive Architectures, BICA 2017. *ScienceDirect. Procedia Computer Science* 123: 534–540.

SPACIOCEPCIJA I VERBOTONALNA TEORIJA

Sažetak

Osjet za prostor ili spaciocepcija složeni je osjet koji nastaje na temelju podataka koji u središnji živčani sustav dolaze s periferije iz raznih osjetila. Vid, sluh, propiocepcija, opip i vestibularno osjetilo osjetila su spaciocepcijskog sustava, koji omogućuje živom biću doživljavanje prostora, njegovo svladavanje, društvenu i kulturnu izgradnju i opstanak vrste. Poznavanje neurofiziologije sustava za osjet prostora ključno je za razumijevanje cjelovitosti komunikacije. Unutar sustava za percepciju prostora, osim prostornih predodžbi, stvaraju se prostorni govor i prostorno mišljenje jer je govor izomorf realnosti. Na taj način nastaje gramatika prostora koja predstavlja korespondenciju i analogiju između svijeta i bića, odnosno rečenice događaja i verbalne rečenice. Budući da je verbotonalni sistem usmjeren na čovjeka (subjekt u procesu komunikacije) i na njegove stvarne mogućnosti, rehabilitacija slušanja i govora također je usko povezana sa spaciocepcijom. Multisenzoričnost je jedno od temeljnih načela na koja se oslanja verbotonalna teorija i rehabilitacija verbotonalnom metodom. Iako se naglašava važnost razvoja svih osjeta i rehabilitacija somatosenzoričkim putem, valja istaknuti kako vestibularna osjetljivost predstavlja integraciju spaciocepcije.

Ključne riječi: *percepcija prostora, verbotonalna teorija, gramatika prostora, multisenzoričnost, vestibularno osjetilo*

THE SPACIOCEPTION AND VERBOTONAL THEORY

Summary

The perception of space or spacioception is a complex sensation that is generated on the basis of the data that comes from the periphery of various senses to the Central nervous system. Sight, hearing, proprioception, touch and vestibular sense represent sensations of the spacioception system, that allow the living being to experience space, overcome it, create social and cultural construction and survival of the species. Considering the neurophysiology of the sensory space system is essential to understanding the integrity of communication. Within the space perception system, apart from the spatial conceptions, spatial speech and spatial thinking are created because the speech is an isomorph of reality. Thus, a grammar of space emerges, representing the correspondence and analogy between the world and the human being, that is, the sentence of the situation and the verbal sentence. Since the verbotonal system focuses on the individual (subject in the communication process) and on his/her real possibilities, the rehabilitation of listening and speaking is also closely related to spacioception. Multisensory is one of the fundamental principles of the verbotonal theory and the rehabilitation by the verbotonal method. Although emphasis is put on the development of all senses and the somatosensory rehabilitation, it should be noticed that vestibular sensitivity represents the spacioception integration.

Key words: *perception of space, verbotonal theory, grammar of space, multisensory, vestibular sense*

Životopis

Ivana Paljug rođena je 17. travnja 1993. godine u Zagrebu. Osnovnu školu i Opću gimnaziju završila je u Karlovcu. Filozofski fakultet upisuje 2012. godine, smjer Fonetika i Sociologija, koju mijenja smjerom Kroatistika 2013. godine. Završetkom preddiplomskog studija 2016. godine, upisuje diplomski studij Fonetike, smjer Rehabilitacija slušanja i govora te diplomski studij Kroatistike, smjer Nastavnički. Tijekom studiranja sudjelovala je u organizaciji edukacijskog treninga za nefonetičare *FonET* (2014.) te u demonstracijama iz programa studija fonetike na Danima otvorenih vrata Filozofskog fakulteta (2018.). Od 2002. godine do danas aktivna je članica Dramskog studija Gradskog kazališta "Zorin dom", Karlovac. Služi se aktivno engleskim i pasivno njemačkim jezikom.